



Charles E. Kellogg

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'ÉTUDE DU SOL

3, rue de Penthievre — PARIS

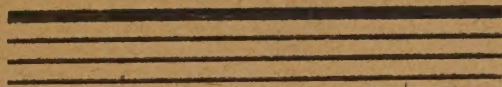
COMPTES RENDUS

de la

CONFÉRENCE

de

PÉDOLOGIE MÉDITERRANÉENNE



ALGER—MONTPELLIER

1^{er}-20 MAI 1947

•

COMPTES RENDUS

de la

CONFÉRENCE

de

PÉDOLOGIE MÉDITERRANÉENNE

INTRODUCTION

Par M. A. DEMOLON,

Membre de l'Institut, Président de la Conférence.

Lorsqu'en juin 1945 l'Académie des Sciences de l'U. R. S. S. célébra son deuxième centenaire, la Pédologie tint parmi les autres sciences la grande place que lui conféraient à la fois son rapide développement, depuis que Dokoutchæv en jeta les bases et les importants services rendus par la cartographie des sols dans un pays aux immenses ressources agricoles encore très incomplètement exploitées. C'est à ce moment que M. H. Laugier, alors directeur des Relations culturelles au ministère des Affaires étrangères, me proposa d'organiser en France une conférence internationale spécialement consacrée à la Pédologie. L'idée me séduisit et de suite il m'apparut que le bassin méditerranéen constituerait à cet égard un lieu d'élection. Cette suggestion fut accueillie avec faveur dès l'origine par tous les pédologues français ou étrangers.

Nous aurions souhaité donner à cette conférence la forme d'une croisière qui aurait permis la visite d'un certain nombre de pays riverains, mais les circonstances n'ont pas permis la réalisation d'un tel projet. Néanmoins, sous une autre forme et malgré de sérieuses difficultés d'organisation, le but poursuivi a pu être pleinement atteint grâce aux concours dévoués qui partout se sont manifestés.

Le bassin méditerranéen, où depuis la plus haute antiquité se sont succédé des civilisations qui disparurent après avoir atteint un haut degré de prospérité et de rayonnement, représente par excellence l'un de ces milieux où l'empreinte de l'homme sur le sol s'est exercée avec une intensité particulière.

Historiens et géographes, dont plusieurs comme Blanchard, Max Sorre, Sion furent professeurs à Montpellier, nous ont retracé dans une littérature d'une incomparable richesse les aspects d'une évolution qui, depuis l'installation des premières colonies grecques, a connu une succession de développements et de régressions, liés à des vicissitudes d'ordre économique et social.

Il y a seulement deux siècles, la culture des céréales prédominait dans la région de Narbonne et de Béziers. La Camargue, qui a connu à l'époque gréco-romaine une certaine civilisation, est devenue ensuite un vaste marécage pour être aujourd'hui remise en valeur. La Crau, jadis désertique,

est aujourd'hui fertilisée par les eaux de la Durance. La forêt primitive a subi un recul considérable, de nouvelles terres ont été conquises sur les étangs côtiers et les dépôts lagunaires de la région littorale; d'autres ont été détruites par l'érosion consécutive à la modification des équilibres sylvo-pastoraux. Cette influence de l'œuvre des hommes sur l'évolution des sols constitue l'un des éléments qui, au point de vue pédologique, confèrent au bassin méditerranéen une originalité profonde.

Lorsqu'on parcourt l'immense plaine russe du nord au sud, on voit se manifester avec netteté la distribution des sols qui fut le point de départ de la pédologie moderne; le climat y prime la roche mère, d'où l'identité des types dans chaque zone climatique. Ici, au contraire, la diversité est frappante avec des contrastes souvent heurtés. Ce fait est en relation avec la tectonique et la nature des roches mères, gneiss et granite se mêlant aux calcaires durs du jurassique ou de l'urgonien, et au diluvium alpin. D'autre part, nous sommes en présence d'un relief très compliqué entraînant l'existence de sols à des stades d'évolution différents et souvent encore très incomplètement développés.

Quant au climat, il comporte en fait une grande irrégularité avec une multiplicité de climats locaux où se combinent l'influence de la mer et de la montagne et que reflètent à la fois la végétation et le type génétique des sols; c'est ce que nous avons pu constater au cours de l'excursion de l'Aigoual.

En définitive, aucune région métropolitaine ne pouvait mieux illustrer l'existence de sous-types de sols intrazonaux dont le mode et le stade d'évolution varient considérablement en des points peu éloignés.

Par ailleurs, Montpellier a offert à nos travaux des conditions particulièrement favorables. C'est dans cette Université qu'en 1886 le professeur Flahaut donna à la géographie botanique une heureuse impulsion et un éclat particulier. Ses élèves et successeurs, Pavillard, Emberger, Gaussen, Molinier, Kuhnoltz—Lordat et d'autres, ont réalisé une œuvre de grand intérêt d'où il appert aujourd'hui qu'il existe une relation directe entre la couverture végétale, ou plus exactement entre certaines associations, et le type génétique des sols. Sur ce point, pédologues et phytosociologues ont pu, au cours de la conférence, échanger leurs vues touchant la cartographie des sols en vue de tendre, comme il est souhaitable, vers une classification et une nomenclature uniques.

C'est aussi à Montpellier que fut créé l'Institut international de Géobotanique que dirige le professeur Braun-Blanquet, qui a bien voulu prendre une part active aux travaux de la Conférence. Enfin, c'est là aussi que se trouve une École nationale d'Agriculture qui s'est acquis une réputation mondiale en matière viticole.

Continents et mers présentent des liaisons étroites et il convient de les associer dans l'étude de la biosphère. A cet égard, je rappellerai qu'en 1910 le prince Albert de Monaco fondait une Commission internationale

pour l'étude de la Méditerranée au point de vue océanographique. Des recherches systématiques ont mis en évidence les nombreuses singularités de cette mer au point de vue salinité, régime thermique, etc. Au cours de cette même période, les types de sols des pays riverains ont également été étudiés activement, mais sans coordination suffisante. On trouvera dans ce volume une bibliographie de ces travaux, et quelques notes sur les excursions qui ont eu lieu sous la direction de MM. Braun—Blanquet, Bordas, Marcelin, Marre, Molinier, Tallon, Drouineau, Cerighelli, etc...

Notre programme fût demeuré incomplet, si nous ne nous étions transportés sur la rive nord-africaine de la Méditerranée. L'Algérie, si étroitement liée à la Métropole par tant de liens culturels et économiques, a réservé à notre Conférence un accueil chaleureux qui a laissé un inoubliable souvenir à tous les participants.

Pour les pédologues, de nombreux sujets d'observations et de discussions ont présenté un intérêt particulier dans cette région où le climat associe l'action méditerranéenne et saharienne. A côté des sols rouges qu'ils y ont retrouvés, des types nouveaux non représentés en France y ont été examinés : sols gris des steppes semi-désertiques, sols apparentés aux tchernozems, sols salins et à alcalis, sols à croûte calcaire. A Tlemcen, ils ont goûté le climat du Midi de la France, tandis que plus au sud la steppe à alfa leur illustre la région saharienne, et le Laboratoire de Biologie de Beni-Onif (professeur Ch. Killian) les amenait au pied de l'Atlas.

L'érosion, qui préoccupe à juste titre un grand nombre de pays, a fourni à côté du tableau de ses ravages, celui des efforts déployés pour la combattre par le Service de la Défense et de la Restauration des sols. Celui-ci, fondé par M. de Beaucourday et dirigé par M. Saccardy a ajouté aux procédés classiques des méthodes nouvelles de stabilisation des terres qui présentent un grand intérêt social et qui ont retenu l'attention de tous les congressistes.

Faut-il ajouter que les excursions organisées dans la plaine de la Mitidja et le Sahel algérien (H. Roseau), dans la plaine de Relizane (G. Aubert) et dans la zone de Perréaux où l'irrigation des sols salés a permis d'instructives observations (M. Gaucher), en Oranie (MM. Duché, Monjauze, Killian) ont démontré que si l'effort tenace des premiers colons a triomphé des multiples obstacles rencontrés, la pédologie est aujourd'hui à même de les guider dans la mise en valeur et l'exploitation des sols très inégalement adaptés aux diverses spéculations.

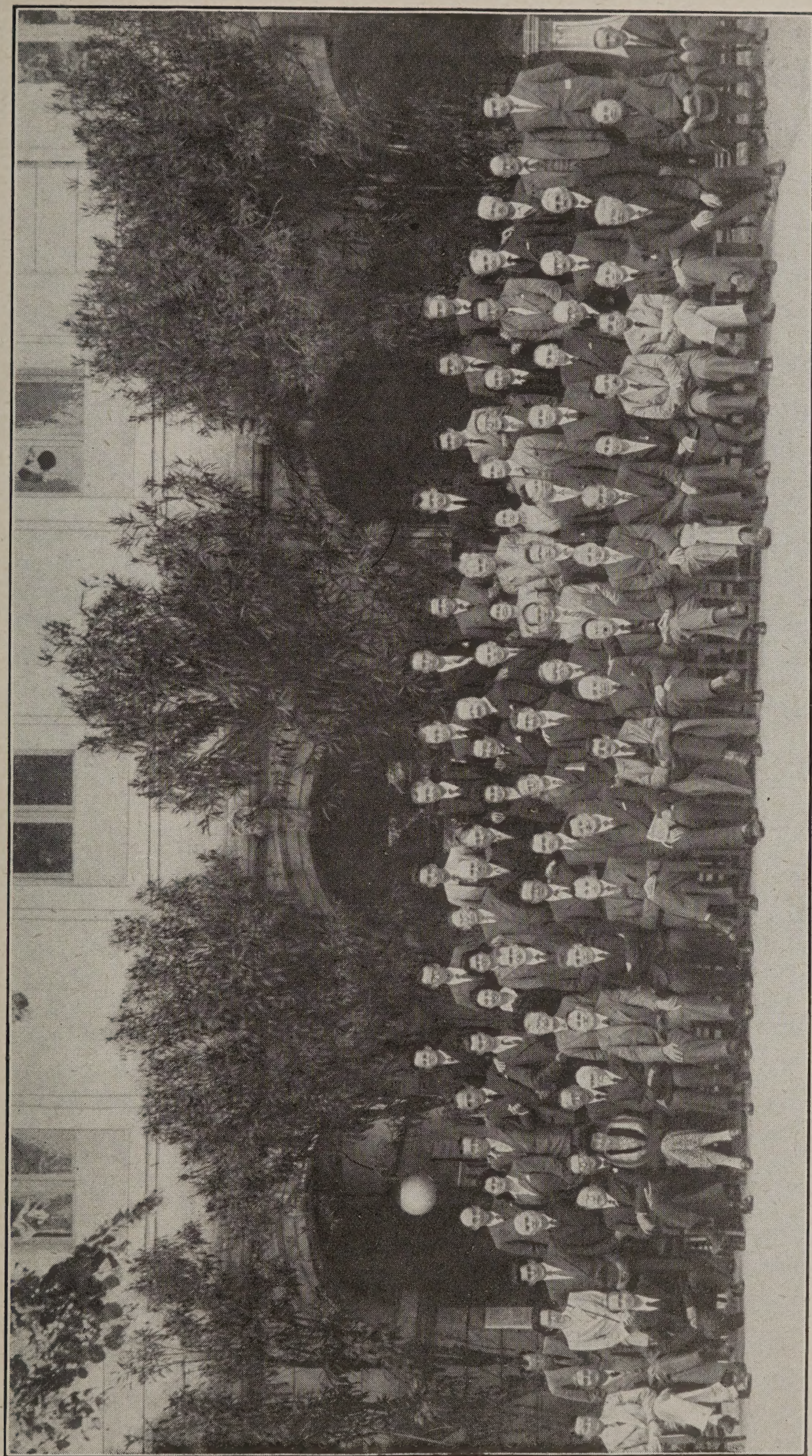
Nous avons, d'autre part, constaté le développement des grands barrages et de l'irrigation qui, sous la direction de M. Drouhin, constituent un élément important dans le développement agricole de vastes périmètres. Nous avons ainsi pu connaître cette Algérie « au visage et à l'esprit tout modernes, fermement orientée vers l'avenir » que nous ont présentée d'abord MM. Barbut et Berthault dans un instructif préambule à Alger, puis

M. le Président Sicard à Oran et le maire de Bouffarik devant le Monument aux Pionniers de la colonisation.

Ce rapport renferme une série de communications techniques faites en séances et quelques autres documents concernant la Conférence. En le présentant au lecteur, je tiens à rappeler combien nous avons apprécié le concours que nous ont apporté nos collègues étrangers, ainsi que nos universitaires, forestiers, ingénieurs du Génie rural, directeurs de Stations agronomiques ou des Services agricoles et tous les spécialistes qualifiés qui ont pris part à nos travaux ; enfin et surtout les membres des Comités d'Organisation dont nous avons tenu à rappeler les noms au début de ce volume.

Nous sommes persuadés que les contacts personnels et les échanges de vues que cette conférence a permis, assureront à la Pédologie le bénéfice qu'une science nouvelle peut attendre d'un heureux élargissement de ses horizons.

RÉUNIONS DANS LA MÉTROPOLE



Conférence de Pédologie Montpellier—Algier 1947. Les Congressistes à Montpellier.
Montpellier—Algier Conference of Pedology 1947. Congressists at Montpellier.

PÉDOLOGIE ET PHYTOSOCIOLOGIE

Conférence donnée au Congrès international de Pédologie de Montpellier (3 mai 1947).

Par H. PALLMANN

Directeur du Laboratoire de chimie agricole
École Polytechnique fédérale (Zurich) (1).

Plan.

A. NÉCESSITÉ DE NOTIONS PRÉCISES.

- a) *La notion « Sol » du point de vue des sciences naturelles.*
- b) *Les diverses sphères de problèmes de la pédologie.*
- c) *Classifications pédologiques et phytosociologiques.*
- d) *Classification des sols d'après le projet de discussion zurichois.*
- e) *La situation des principaux types de sols suisses dans le système de classification zurichois (séries et sous-séries des sols).*
- f) *Les diverses directions de la transformation du sol.*

B. LE SYSTÈME NATUREL « CLIMAT, VÉGÉTATION ET SOL ».

- a) *Enchaînements généraux.*
- b) *Plantes et groupements végétaux comme indicateurs du milieu.*

C. PRINCIPAUX GROUPEMENTS FORESTIERS EN SUISSE ET LEURS PÉDOSÉRIES PRINCIPALES.

- a) *Pédosérie à sol humique-carbonaté (sous-série dolomitique) du Pineto-Ericion des montagnes dolomitiques de la Basse-Engadine.*
- b) *Pédosérie à podzol du Rhodoreto-Vaccinion de l'étage subalpin des Alpes cristallines.*
- c) *Développement de la végétation forestière et des sols du Plateau suisse (Querceto-Carpinetum et Querceto-Betuletum).*

E. LA NOTION « SOL ANALOGUE » ET « MILIEU ANALOGUE » DANS LA PHYTOSOCIOLOGIE ET LA PÉDOLOGIE.

F. DE L'UTILITÉ D'UNE COLLABORATION ENTRE PHYTOSOCIOLOGIE ET PÉDOLOGIE.

A. NÉCESSITÉ DE NOTIONS PRÉCISES.

Il existe des relations diverses entre la végétation et son milieu, le climat et le sol. « Plantes indicatrices du sol et du climat local », « Peuplements forestiers conformes au milieu », etc... sont des notions connues

(1) A Messieurs Dr J. BRAUN-BLANQUET et Dr Ch. GODET j'exprime tous mes remerciements pour leur bienveillant concours à la traduction française de cette conférence.

des paysans, des forestiers et des botanistes. Au cours de cette dernière décade, nous nous sommes occupés en particulier de l'étude de la formation des sols qui régit aussi le développement des groupements végétaux. La collaboration du Dr BRAUN-BLANQUET, le maître de la sociologie végétale moderne, et de W. KOCH, H. ETTER, M. MOOR, W. LÜDI, L. ZOBRIST, P. HAFFTER, etc., a contribué à faire progresser très rapidement ces recherches.

La pédologie aussi bien que la sociologie végétale sont des disciplines récentes qui bénéficient de collaborations de spécialistes. Les deux sciences traitent des problèmes complexes échappant aux chiffres exacts et aux formules définies. La nécessité de limiter et de circonscrire exactement les notions est évidente, surtout dans ces domaines où l'on peut utiliser de nombreux critères pour en caractériser les objets. Plus précisément un objet complexe est circonscrit et son sens formulé, plus aussi s'éclaircissent les problèmes posés. Il est indispensable d'affiner continuellement les conceptions d'une science pour arriver à une discussion claire de la matière et à une classification systématique des objets si divers et bien compliqués qu'elle contient.

Pour rendre un domaine scientifique facilement abordable, il faut des notions claires et exactement délimitées; elles favorisent aussi l'enseignement, la discussion et la critique constructive.

a) *La notion « sol » du point de vue des sciences naturelles.*

Pédologues et phytosociologues comprennent la notion « Sol » dans un sens très large. Pour les associations de lichens (par exemple le *Rhizocarpetum*) la surface rugueuse du granit devient un sol, sur lequel elles se fixent et croissent, indiquant parfois nettement ses propriétés chimiques (par exemple absence de carbonates). Les sédiments submergés des lacs et des côtes maritimes sont peuplés de micro-organismes, pour eux *Gyttia* et « Dy » sont un sol. Par contre la notion « Sol » s'impose tout naturellement pour les « terres brunes », les « podzols » et les « tchernozems » et elle s'étend encore jusqu'à l'extrême limite : la « latérite ».

Le sol se forme :

- a) Par la désagrégation physique et chimique des roches;
- b) Par la transformation biogène des produits organiques (formation de l'humus et de produits microbiogènes de composition chimique bien connue);
- c) Par les divers phénomènes de migration (érosion, accumulation, percolations);

Phénomènes produisant la *couche polydisperse* friable de l'écorce terrestre.

Le sol présente souvent dans sa coupe verticale (dans son profil) des horizons caractérisés :

- a) Par leur ordre de placement;
- b) Par leur chimisme;
- c) Par leur structure;
- d) Par leur couleur;
- e) Par leur granulation (texture);
- f) Par leur épaisseur.

Ces horizons peuvent servir :

- a) D'espace vital aux micro-organismes et à l'édaphone;
- b) De lieu d'enracinement des plantes supérieures.

Le sol se transforme continuellement sous l'influence du climat, des facteurs hydrologiques, des forces mécaniques du relief et du milieu biologique (plantes, animaux, hommes).

Notre définition du sol reste purement qualitative, elle ne précise pas dans quelle mesure ont agi chacun de ces phénomènes. Le degré d'évolution du sol n'est sciemment pas compris dans cette définition.

b) *Les diverses sphères de problèmes de la pédologie.*

La pédologie ne s'occupe pas uniquement des terres arables et des sols forestiers avec leur aménagement et leurs améliorations, mais elle étudie aussi le sol dans le sens le plus vaste : les stades *primitifs* de la formation de sols (sols bruts) jusque, dans l'autre extrême, aux sols *séniles*, prenant de nouveau des caractères de roches (certaines latérites). Seule une pédologie de cette envergure aura le droit d'être nommée une science propre, une branche autonome des sciences naturelles.

La science du sol (=pédologie) embrasse diverses sphères de problèmes, qu'on peut grouper comme suit :

1. *Problèmes analytiques-statiques*, répondant à la question :

« Quelles sont les propriétés chimiques, physiques, morphologiques et biologiques du sol? »

2. *Problèmes génétiques*, s'intéressant aux questions :

« Quel est le mécanisme de la formation du sol, en rapport avec les conditions du milieu (climat, végétation, pétrographie, hydrologie, etc.; podzolisation, latéritisation, etc.)? »

« Quel est le stade d'évolution? » (sol brut, sol peu développé, sol mûr, sol dégradé, etc.);

« Quelle est la situation spéciale d'un profil donné entre les diverses formations des sols? »

3. *Problèmes pédogéographiques*, à leur base existe la question :

« Quelle est la répartition des sols, quelles sont leurs variantes à la surface terrestre? » La réponse aboutit à la cartographie des sols.

4. Problèmes chronologiques posant les questions :

« A quelle époque se formait le sol (sol récent ou fossile)? »

« Quelle est la vitesse d'évolution ou de régression? »

c) Classifications pédologiques et phytosociologiques.

La formule classique de la formation des sols présente de nombreuses variables qui influencent la désagrégation, la formation de l'humus, les phénomènes de migration, et qui conduisent vers un but final déterminé. Ce sont ces variables qui déterminent aussi l'intensité de la formation des sols (voir tableau 1).

TABLEAU 1.

*La formule générale de la pédogenèse
met en évidence la grande diversité des sols.*

Formation du sol = f (climat, roche, végétation, relief, hydrologie, temps, homme, animaux, etc.)

Ces variables diffèrent.

- a) Du climat des neiges à celui des tropiques;
- b) Des quartzites et des roches silicatées aux roches calcaires;
- c) Des lichens des roches aux forêts vierges tropicales;
- d) Des crêtes érodées aux vallons d'accumulation;
- e) Des lieux submergés aux montagnes désertiques;
- f) Des alluvions récentes aux terrains préquaternaires;
- g) Des terrains naturels vierges aux terrains profondément labourés, etc...

L'interaction presque indémêlable de ces variables conduit à une énorme diversité de sols. Ce fait est connu dès longtemps des pédologues. Peut-on classer systématiquement cette multiplicité de sols? Quelle dénomination doit-on choisir pour ces sols? Il sera utile de rappeler brièvement les principes de la classification phytosociologique.

Comme le phytosociologue se trouve en présence d'un grand nombre de groupements végétaux tant naturels qu'anthropogènes et plus ou moins bien délimités, le pédologue se trouve en face d'une grande diversité de sols.

L'objet d'étude du phytosociologue est le *groupement végétal* bien défini (Pflanzengesellschaft). Le groupement est surtout reconnaissable à ses espèces caractéristiques. Des mélanges accidentels de plantes ne constituent pas des groupements végétaux au sens phytosociologique, ce sont des *populations végétales quelconques* (Siedelungen). Par son sens intuitif le phytosociologue reconnaît en premier lieu l'ensemble des plantes qu'il faut considérer comme caractéristiques. Cette première impression est consolidée par la recherche exacte et l'étude statistique d'aussi nombreux exemples que possible du même groupement (indi-

vidus d'association). La phytosociologie reconnaît d'abord le degré de parenté floristique des groupements végétaux, puis leur valeur systématique et sociologique. Ensuite il réunit en ensembles plus complexes les groupements parents.

Le phytosociologue distingue des groupements végétaux d'importance systématique très diverse : unités de valeur taxonomique inférieure jusqu'aux unités les plus élevées.

« L'unité sociologique fondamentale est l'association et chaque association est définie principalement par ses espèces caractéristiques. »

A l'envie du pédologue, la phytosociologie possède dès aujourd'hui un système de classification bien établi, dans lequel les unités de groupements végétaux, des supérieures aux plus inférieures, sont rangées dans un ordre logique, d'après des critères bien définis et analytiquement compréhensibles. La nomenclature suit ainsi des directives ayant fait leurs preuves.

On doit à J. BRAUN-BLANQUET (1) et à son école d'avoir créé non seulement des méthodes de travail, internationalement reconnues, mais aussi un imposant inventaire de groupements végétaux et leur classification sociologique. Le phytosociologue reconnaît par l'analyse floristique un grand nombre de groupements bien étudiés et il les classe sans équivoque.

Un exemple des groupements végétaux des forêts de résineux et des landes servira à démontrer le principe de cette classification sociologique. Le tableau 2 en démontre le principe, il contient surtout les représentants des groupements qu'on rencontre en Suisse.

TABLEAU

(1) J. BRAUN-BLANQUET, *Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde*. Berlin, 1928.

TABLEAU 2.

*Classification phytosociologique des groupements végétaux
de la forêt de résineux et des landes (1).*

Unité phytosociologique . . .	Exemples
Classe.	Vaccinio-Piceetea (—etea)
Ordre.	Vaccinio-Piceetalia (—etalia)
Alliance	1. Vaccinio-Piceion (—ion) 2. Loiseleurieto-Vaccinion 3. Juniperion nanae 4. Pineto-Ericion
Association.	a) Pineto-Ericetum (—etum) b) Pineto-Caricetum humilis c) Mugeto-Ericetum d) Mugeto-Rhodoretum hirsuti
Sous-association	α) Mug. E. caricetosum humilis(—etosum) β) Mug. E. hylocomietosum γ) Mug. E. cladonietosum α) Mug. Rh. salicetosum reticulatae β) Mug. Rh. hylocomietosum γ) Mug. Rh. cladonietosum

Les groupements végétaux conçus d'après leur composition floristique montrent des exigences écologiques bien déterminées. Les exigences écologiques d'un groupement s'accroissent depuis les unités sociologiques supérieures (par exemple classe) jusqu'aux associations (unités inférieures). Très souvent, la spécialisation écologique extrême n'est cependant pas encore atteinte par l'association. Si, dans celle-ci, on peut reconnaître des unités sociologiques inférieures, par exemple des sous-associations (caractérisées par des espèces différentielles) ou des facies (caractérisées par des différences quantitatives, non qualitatives, dans la composition floristique), on constate en même temps un affinement des conditions écologiques (climat et sol). La variation des *facteurs écologiques dominants* devient de plus en plus étroite. *De pair avec l'augmentation de la spécialisation floristique croît également la spécialisation écologique.*

Les difficultés de la systématique et de la classification pédologique sont reconnues de tous les spécialistes. Comment apprécier, par exemple, le sol du *Mugeto-Ericetum caricetosum*? Où placer ce sol dans un système général de classification? Comment le désigner?

Il y a là — à notre avis — un problème de premier ordre, à la fois

(1) J. BRAUN-BLANQUET, *Prodromus der Pflanzengesellschaften*.
G. SISSINGH et J. Vlieger, *Klasse der Vaccinio-Piceetea*, 1939.

pratique et théorique. Ce problème apparaîtra plus clairement, si nous posons les questions suivantes :

- a) Quels critères de base doivent présider à la classification des sols?
- b) Quelle valeur systématique doit-on attribuer à chaque critère?

Toute classification doit, en première ligne, reposer sur l'inventaire des sols. Ce n'est que par *la comparaison* qu'un système peut être établi. Cet inventaire est le résultat du travail des pédologues de tous les pays. Mais — dans beaucoup de cas — ces nombreux sols inventoriés auraient dû être étudiés à l'aide de méthodes comparables et sur la base de critères généralement reconnus. Malheureusement ce n'est pas le cas. Le manque d'entente sur la méthode de travail et la façon de poser les questions de principe rend la comparaison très difficile. Lorsqu'une comparaison devient impossible, une classification satisfaisante et la systématique des phénomènes sont exclues.

Les systèmes de classification pédologiques ne manquent pas. J.-M. ALBAREDA (1) en a donné (1943-1944) un résumé.

Les critères systématiques sont très nombreux et très variables (voir tableau 3).

TABLEAU 3

Critères systématiques employés dans les diverses classifications des sols.

Critères externes du milieu.	Climat, roches, végétation, relief, etc.
Critères analytiques	Chimisme, physique, morphologie, biologie (dérivant de l'analyse d'un profil de sol donné).
Critères génétiques.	Desagrégation physique et chimique; Formation de l'humus; Déplacements (migrations) mécaniques; Migrations percolatives; Stade d'évolution génétique (dérivant de la comparaison des profils de sols).

Le plus souvent on ne distingue pas clairement la valeur systématique des critères. Il est indispensable d'arriver avant tout à une distinction conséquente *des critères dérivant exclusivement du sol*, d'après leur importance systématique. Pour les botanistes et les zoologistes ce principe de subordination va de soi.

Nous nous permettons, dans le chapitre suivant, d'exposer brièvement et de soumettre à la discussion un projet de classification de sol, tel que nous l'avons élaboré ces dernières années à Zurich. Il ne s'agit nullement d'un système définitif et complet, mais uniquement d'un projet soumis à la discussion.

(1) J.-M. ALBAREDA, « Clasificac. y tipos de suelos ». *Ann. del Instit. de Edafologia*. Madrid 1943.

d) *Classification des sols d'après le projet de discussion zurichois.*

Le système si complexe du sol nous oblige à envisager une simplification des considérations. Sous réserve de cette simplification, et de façon abstraite, le sol peut être considéré pour son examen systématique de façon suivante :

1. Le sol est un *filtre polydisperse*.
2. Dans ce filtre se produisent des *migrations* de substances inorganiques et organiques à haute dispersité (*percolats*).
3. Le filtre et les percolats composent ensemble le *système de percolation*.
4. Le *système de percolation* peut être caractérisé par :
 - a) La direction du courant de percolation;
 - b) La composition chimique du filtre;
 - c) Les particularités physiques et chimiques des percolats;
 - d) L'intensité et la durée de la percolation, d'où résulte — en termes pédologiques usuels — le degré d'évolution du profil.

Les critères systématiques du projet zurichois reposent — du moins pour ce qui concerne les unités systématiques supérieures — sur cette conception générale (Voir tableaux 4-8).

TABLEAU 4.

Unités et critères systématiques de la classification des sols.

<i>Unité :</i>	<i>Critères :</i>
1. Classe de sols	1. Direction de la percolation principale.
2. Ordre de sols	2. Genèse et chimisme brut du filtre.
3. Alliance de sols.	3. Chimisme de la partie inorganique du filtre.
4. Types de sols	4. Chimisme du percolat <i>typique</i> .
5. Sous-type de sols.	5. Degré d'évolution du profil.
6. Variétés de sols	6. Particularités quantitatives du profil de sol dans le chimisme, la morphologie, la physique et dans les conditions biologiques.

Dans ces *critères propres aux sols mêmes*, des unités systématiques supérieures sont comprises les influences du climat, de la roche, de l'hydrologie et de la végétation.

Le type de sol, relié à une certaine alliance, ordre et classe, est l'unité fondamentale de notre système. — Comme représentants de type de sol apparaissent le « tchernozem », le « podzol », la « terre brune », etc. — Pour éviter une confusion dans l'usage du terme « type de sol » qui, d'une part, signifie l'unité systématique de la classification des sols définie par les seuls percolats caractéristiques, et, d'autre part, désigne

l'unité fondamentale de toute la classification caractérisée par le système entier de percolation (direction de percolation, genèse et chimisme du filtre, percolats caractéristiques), nous emploierons, en cas de doute, pour cette dernière notion le terme « pédoserie » ou « série de sol ».

TABLEAU 5.

Les quatre classes de sols, dressées selon la direction du courant de percolation.

1. *Classe des sols exopercolatifs.* — Les percolats de haute dispersité ascendent vers la surface du profil.
2. *Classe des sols amphipercolatifs.* — La direction de la percolation change périodiquement au cours de l'année, ou bien il n'y a ni accumulation ni lessivage, ou bien il y a accumulation du percolat X et lessivage du percolat Y dans le même profil.
3. *Classe des sols endopercolatifs.* — Les percolats sont lessivés contre le sous-sol.
4. *Classe des sols peripercolatifs.* — Les percolats circulent dans toutes les directions du profil. Souvent la percolation est faible dans un filtre saturé d'eau.

TABLEAU 6.

Les ordres de sols, dressés selon le chimisme brut du filtre.

1. *Ordre des sols pétrogènes.* — Le filtre consiste surtout en roches peu décomposées. Humus sans importance.
2. *Ordre des sols minéro-chémogènes.* — Le filtre consiste surtout en matières inorganiques bien décomposées. Humus sans importance.
3. *Ordre des sols organo-minérogènes.* — Le filtre doit ses propriétés principales aussi bien aux matières inorganiques décomposées qu'à l'humus.
4. *Ordre des sols organo-pétrogènes.* — Le filtre se compose surtout de l'humus et de matières rocheuses peu décomposées.
5. *Ordre des sols organogènes.* — Le filtre se compose surtout de matières organiques. Celles-ci déterminent les propriétés principales du profil.

TABLEAU 7.

Les alliances de sols sont caractérisées par le chimisme général de la partie inorganique du filtre.

1. *Alliance des sols allitiques.* — Le filtre inorganique est caractérisé par les sesquioxydes de Fe et Al. Allitisation par l'entraînement de la silice ou par ascensum des sesquioxydes.
2. *Alliance des sols ferri-siallitiques.* — Le filtre inorganique est caractérisé par les silicates d'alumine. Sesquioxydes de Fe et d'Al sont fixés à la surface des granules filtrantes ou accumulés dans des horizons spéciaux.
3. *Alliance des sols siallitiques.* — Le filtre inorganique est caractérisé par les silicates d'alumine. Libération insignifiante des sesquioxydes.
4. *Alliance des sols sial-terracalitiques.* — Le filtre inorganique est caractérisé par les carbonates des alcalino-terreux qui dominent, et par les silicates d'alumine.
5. *Alliance des sols terracalitiques.* — Le filtre inorganique est caractérisé par la dominance absolue des carbonates ou des sulfates des alcalino-terreux.
6. *Alliance des sols hétérolitiques.* — Le chimisme du filtre inorganique a une très petite influence sur les propriétés du sol. Sa composition peut varier fortement, sans que le caractère du sol soit principalement changé (par exemple certains sols mouilleux, sols arctiques, sols pétrogéniques alpins.)

TABLEAU 8.

*Les types de sol sont — dans le cadre des critères supérieures —
définis par les percolats caractéristiques.*

	<i>Les percolats caractéristiques.</i>
1. <i>Type Sesquisil</i>	Sesquioxides sous l'action protectrice de la silice en milieu alcalin jusqu'à faiblement acide.
2. <i>Type Sesquihum.</i>	Sesquioxides sous l'action protectrice de l'humus à haute dispersité en milieu acide.
3. <i>Type Acidhum</i>	Matières humiques à haute dispersité et à réaction nettement acide.
4. <i>Type Terralk</i>	Ions alcalino-terreux (Mg et Ca) avec des anions à dispersité angströmique en milieu alcalin ou acide.
5. <i>Type Alkhum.</i>	Matières humiques dispersées par Na du complexe absorbant ou les sels sodiques en milieu alcalin ou neutre.
6. <i>Type Alk.</i>	Ions alcalins avec les anions à dispersité angströmique en milieu alcalin ou neutre.
7. <i>Type Alun</i>	Sels Alun (sulfates de Fe ou d'Al) en milieu acide.

La *figure 1* démontre ces unités systématiques. Avec la désignation du type on n'est pas encore renseigné sur le degré d'évolution génétique du sol. A chaque série de sol seront attribués les *sous-types* caractérisés qualitativement par le même système de percolation mais distingués par l'intensité de différenciation du profil, c'est-à-dire par le degré d'évolution (voir tableau 9).

TABLEAU 9.

Les sous-types se distinguent par le degré d'évolution du profil. Décisifs sont : le degré de la désagrégation physique et chimique, l'accumulation de l'humus, le degré de différenciation du profil en horizons, etc.

1. Sous-type : Sol brut.
2. Sous-type : Sol peu développé.
3. Sous-type : Sol assez développé.
4. Sous-type : Sol mûr.
5. Sous-type : Sol dégradé (Voir plus bas).

Chaque sous-type renferme une multitude de variétés de sols. — Elles diffèrent les unes des autres par les propriétés morphologiques, chi-

miques, physiques et biologiques des profils. Les praticiens : agriculteurs et forestiers s'intéressent surtout aux variétés de sol (Ortsböden) parce que, non seulement elles réunissent — comme profils réels — les propriétés critérielles de toutes les unités systématiques, mais aussi elles montrent toutes les particularités physiques, chimiques, morphologiques et biologiques du sol concret.



Fig. 1. — Les unités systématiques dans la classification des sols. — (Klasse = classe; Ordnung = ordre, Verband = alliance; Typus = type; Untertypen = sous-types; Bodenvarietäten = variétés de sol; Ortsböden = sols locaux, Rohböden = sols bruts; Unentw. B. = sols peu développés; Reife B. = sols mûrs; Degrad. B. = sols dégradés.

Nos travaux ont démontré qu'en principe le système proposé est capable d'être développé. Dans cette étude, la place nous manque pour discuter l'application du système aux différents types de sol du globe. Dans le chapitre suivant les principaux types de sol suisses seront brièvement présentés et rangés comme exemple de notre système de classification.

e) *La situation des principaux types de sol suisses dans le système de classification zurichois (séries et subséries des sols).*

Les multiples relations qui existent entre le développement de la végétation et la pédogénèse seront démontrées par des exemples suisses.

La petite surface de la Suisse (41.295 kilomètres carrés) offre une riche collection de sols très différents, due à la diversité de la roche mère (facteurs pétrographiques et géologiques), au relief accidenté et aux grandes différences climatiques des diverses régions du pays.

Les types de sol les plus importants traités dans cet exposé seront : « la terre brune », « le podzol », « le sol humique-silicaté », « le sol humique carbonaté » et la « rendzine ».

Pour plus de clarté et pour démontrer la façon de classer ces types dans le système précité, ils seront rangés avec leurs critères pédosystématiques dans le tableau suivant (voir tableau 10) :

TABLEAU 10.

L'emplacement de différents types de sol dans le système zurichois.

1. Classe des sols 2. Ordre des sols 3. Alliance des sols 4. Type de sol	Terre brune C ₃ O ₂ A ₂ T ₄	Podzol C ₃ O ₂ A ₂ T ₂
	endopercolatifs organo-minerogènes ferri-siallitiques terralk	endopercolatifs organo-minerogènes ferri-siallitiques sesquihum
	Sol humique-carbonaté C ₃ O ₄ A ₅ T ₄	Rendzine C ₃ O ₃ A ₄ T ₄
	endopercolatifs organo-pétrogènes terralcalitiques terralk	endopercolatifs organo-pétrogènes sial-terralcalitiques terralk
1. Classe des sols 2. Ordre des sols 3. Alliance des sols 4. Type de sol	Sol humique-silicaté C ₃ O ₄ A ₃ T ₂	
	endopercolatifs organo-pétrogènes siallitiques sesquihum	

Jusqu'à présent on a réuni les *sols humique-carbonatés* et les *rendzines* dans une seule unité; les recherches faites dans les Alpes et le Jura ont amené à les séparer. Nous appelons un sol « sol humique-carbonaté » dont les propriétés principales sont dues à la présence de carbonates de Ca et Mg et d'humus. Le terme « rendzine » est réservé au sol qui contient à côté des carbonates (Mg, Ca) de l'argile en concentration moyenne ou élevée; l'humus n'y joue qu'un rôle secondaire. Les deux séries appartiennent à la classe des sols endopercolatifs.

Dans une région déterminée par exemple à *terre brune* du plateau suisse, l'intérêt des forestiers, des agriculteurs et des phytosociologues est orienté surtout vers les unités inférieures au type de sol. La notion

« terre brune » ne leur suffit pas, ils s'intéressent à des propriétés physiques, chimiques, biologiques et morphologiques plus détaillées. Ils posent les questions :

1. *Quel degré d'évolution ont atteint les sols envisagés de la série de la « terre brune » par exemple?*

C'est le *sous-type* qui doit être désigné : sol brut, terre brune peu développée, terre brune assez développée, terre brune mûre, terre brune dégradée.

Cette constatation ne suffit pas encore pour caractériser le sol d'une station déterminée.

2. *Quelles particularités spéciales indiquent le profil du sol?*

La réponse sera donnée par la détermination de l'épaisseur des horizons, de l'acidité, des teneurs en humus et en matières nutritives, du régime des eaux et de l'air, de la structure, de la texture, de l'activité biologique, etc.

La détermination de la *variété du sol* se base sur la constatation de ces propriétés précitées.

Les *sous-types* avec leurs nombreuses *variétés* (les sols locaux, Ortsböden) forment par leur ensemble *la série du sol*. On parlera de *la série de la terre brune*, qui réunira tous les sols montrant les critères du système de percolation de la « terre brune » (Voir tableau 10).

Il sera avantageux de distinguer dans la série du sol des *sub-séries* suivant le caractère pétrographique de la roche mère (subsérie de terre brune sur poudingue, sur psammite de molasse, sur moraines, sur terrasses gravello-sablonneux interglaciaires, etc...).

Toutes les variétés de sols qui se rencontrent dans une même série sont *homologues*, c'est-à-dire elles sont génétiquement apparentes (1). Dans la conception de la série de sol sont implicitement compris les conceptions « dynamique du sol, développement, pouvoir de transformation continue ». Dans une région à sol déterminé, la série est d'autant mieux différenciée en variétés que le relief est plus accidenté, que la formation du sol est d'âge plus différent, que les groupements végétaux sont plus divers et que les conditions pétrographiques et hydrologiques diffèrent.

f) *Les diverses directions de la transformation du sol.*

Une transformation de la végétation — suivant les lois déterminées — suit parallèlement l'évolution et la formation du sol.

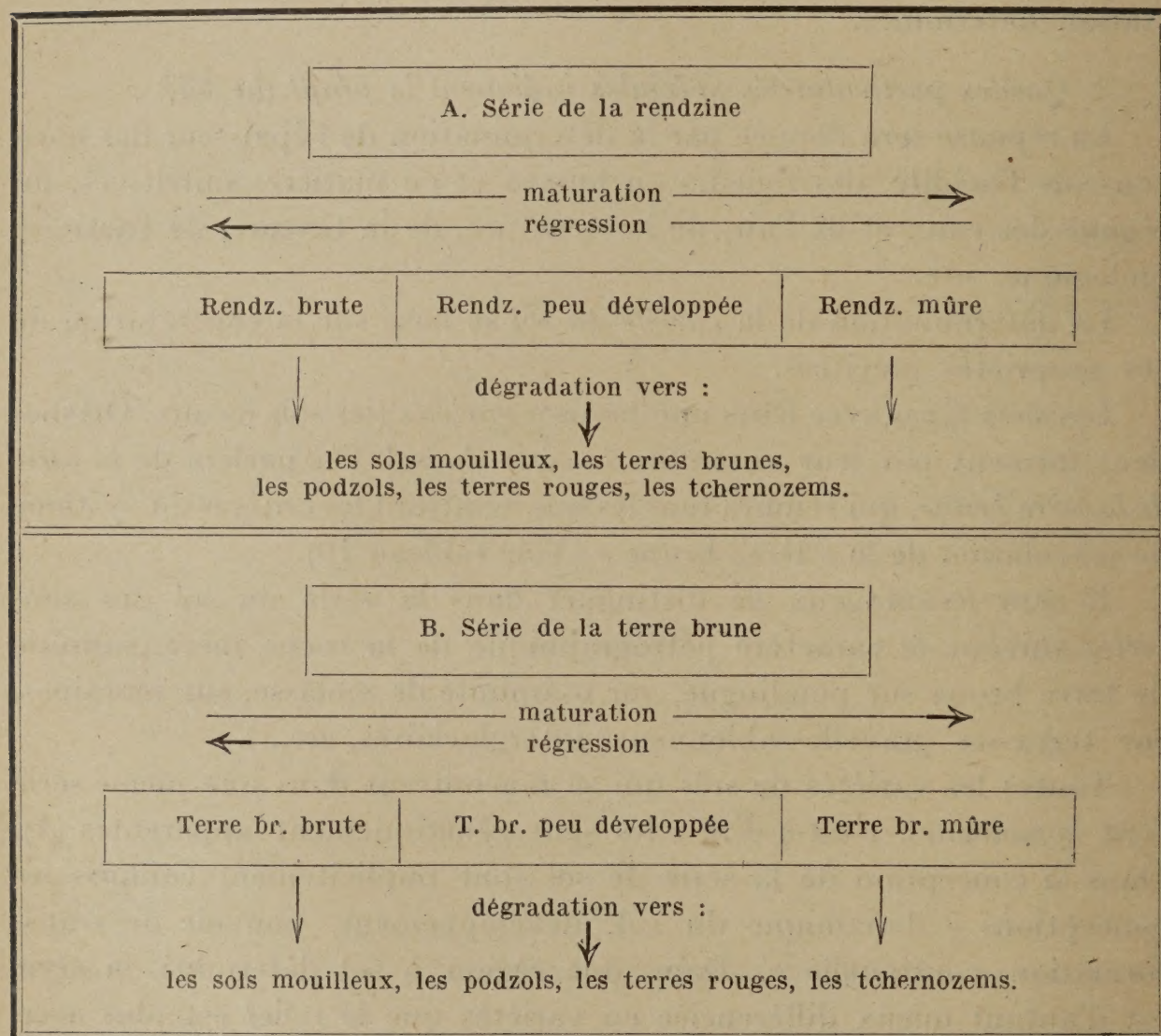
Formation du sol et développement de la végétation sont le plus souvent intimement liés l'un à l'autre.

(1) Le profil mûr reflète le plus clairement les caractéristiques décisives pour la dénomination de la série en question.

Pour mieux comprendre l'exposé, nous mettrons en évidence les directions possibles des transformations du sol dans les limites d'une série de sol au moyen de diagrammes (Voir tableau 11).

TABLEAU 11.

Les directions différentes de la transformation du sol sont : la maturation, la régression et la dégradation. Leur démonstration aux séries de la « rendzine » et de la « terre brune ».



La *maturation* du sol consiste dans le développement normal du sol brut vers le sol mûr, soumis aux critères d'une des séries définies.

La *régression* suit le sens inverse de la maturation : le sol d'un certain degré d'évolution se transforme dans un sol moins développé de la même série. La régression se produit souvent par suite d'un changement de la végétation dû à l'homme ou à la suite de catastrophes qui atteignent le profil du sol (glissement, amputation du profil par l'érosion, accroissement rapide du profil par des matières colluviales ou alluviales, etc.).

La *dégradation* est caractérisée par une transformation d'un sol d'une

série donnée vers une série différente. La podzolisation d'une terre brune, la salification d'un tchernozem, la formation des horizons d'humus acides sur les profils des « sols humique-carbonatés » sont des exemples pour la notion « dégradation » telle que nous la définissons. *L'expression « dégradation » signifie pour nous un changement de direction dans le développement du sol, le passage d'une série de sol en direction d'une autre série.*

B. — LE SYSTÈME NATUREL « CLIMAT, VÉGÉTATION ET SOL ».

a) *Enchaînements généraux.*

En considérant la carte pédologique de l'Europe ou celle de la terre, on reconnaît qu'il existe des relations étroites entre le climat, la végétation naturelle et les séries du sol. Le jeune étudiant apprend à connaître des trinités, comme par exemple :

Climat steppique avec hiver rigoureux et été sec (BSk d'après KÖPPEN) — Sols de la série du tchernozem — Formation de steppe à graminées.

Climat humide tempéré (Cf_b d'après KÖPPEN) — Sols de la série de la terre brune — Formation des forêts à feuilles caduques.

Climat boréal à hiver froid et humide (Df d'après KÖPPEN) — Sols de la série du type podzol — Formation des forêts de résineux acidiphiles et landes.

Ces régions de grandes formations végétales comprennent de nombreuses subdivisions, qu'il s'agit d'étudier aujourd'hui en détail.

Que l'on considère de haut à vol d'oiseau la majestueuse chaîne des Alpes, qui s'élève des bases de l'étage inférieur du plateau suisse jusqu'aux sommets de plus de 4.500 m. ! Appréciée par le changement de la végétation, du climat et des sols, une ascension qui nous mène des fonds des vallées chaudes du sud du Tessin jusqu'aux sommets neigeux des Alpes centrales, constitue un voyage à travers tout un continent depuis le 40^e jusqu'au 80^e degré de latitude (Voir fig. 2).

b) *Plantes et groupements végétaux comme indicateurs du milieu (station, Standort).*

L'agriculteur, le botaniste et le pédologue se servent souvent de la notion « plantes indicatrices » du sol et du climat. L'amplitude écologique de ces indicateurs est très variable. A côté d'ubiquistes écologiques indifférents se trouvent des espèces de haute valeur indicatrice, qui déterminent les caractères spéciaux des sols du climat local, bref du milieu. C'est dans cette catégorie en particulier qu'on trouve spécialement les « espèces fidèles » (*gesellschaftstreue Arten*) à leur groupement végétal. *Les groupements végétaux sont des indices incomparablement plus précieux. Les unités phytosociologiques inférieures (associa-*

tions, sous-associations et facies) possèdent la valeur indicatrice la plus élevée.

La figure 3 en donnera un exemple entre beaucoup. Les associations

Die verschiedenen Höhenstufen der Alpen.

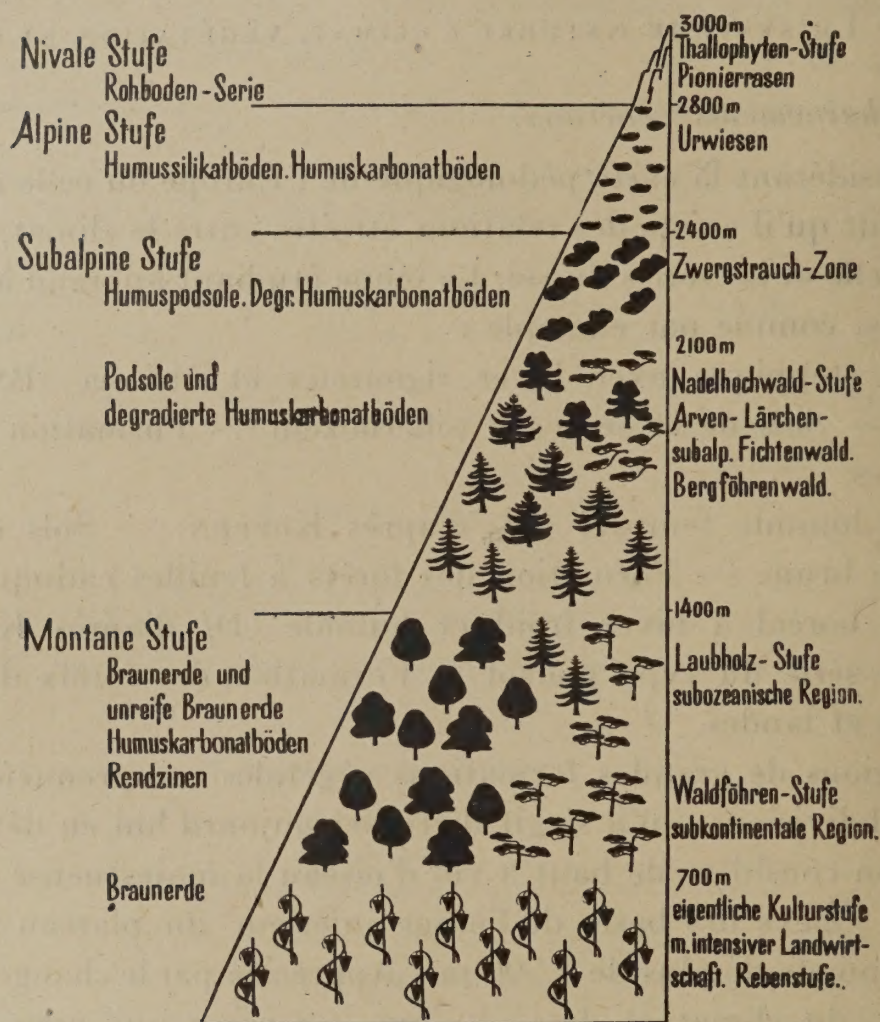


Fig. 2. — Formations végétales et séries de sols dans les différents étages des Alpes suisses.

Stufe = étage, Braunerde = terre brune.

Urwiesen = gazons alpins, par exemple Curvuletum ou Firmetum.

Zwergstrauch = arbustes nains.

Nadelhochwald = forêts à conifères.

Laubholz-Stufe = étage à forêts feuillues.

Waldföhren = pins sylvestres, *Pinus sylvestris*.

et sous-associations des forêts à Pin de montagne et *Erica carnea* sont des indicateurs remarquables, tandis que l'*Erica carnea* elle-même couvre un domaine écologique très vaste.

Les groupements végétaux sont les indicateurs complexes de l'acidification du sol (fig. 3) et de la profondeur moyenne du profil du sol (fig. 4). Ils indiquent l'activité biologique des horizons (fig. 16, 20, 21), la teneur en matières nutritives du sol ou l'excès en sels nuisibles à la

Vergleich des ökologischen Indikatorwertes von Einzelarten und von Assoziationen

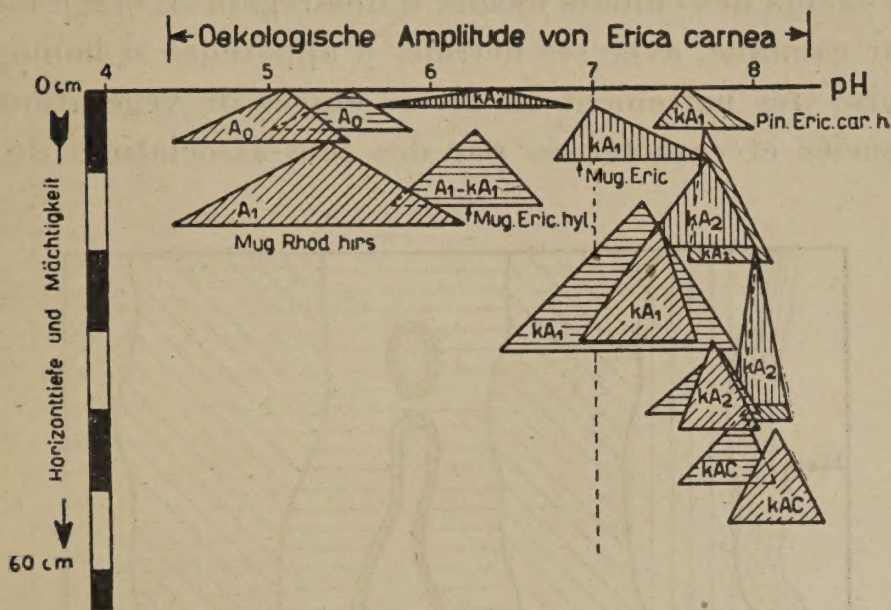
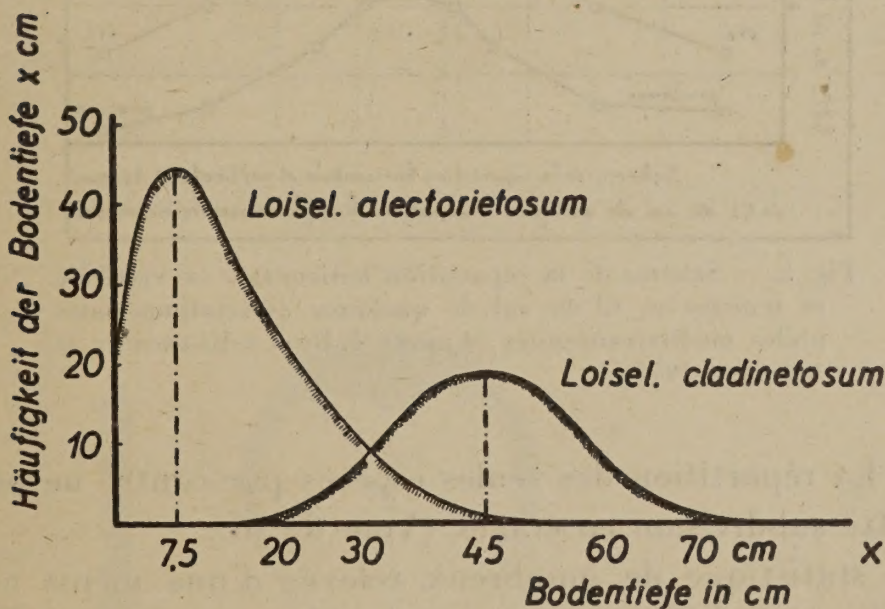


Fig. 3. — Comparaison statistique de la valeur indicatrice de l'*Erica carnea* et des groupements végétaux de la forêt à Pin de montagne de l'étage subalpin de la Basse-Engadine.

(La base des triangles = amplitude du pH du sol; la pointe du triangle = valeur la plus fréquente du pH; hauteur du triangle = épaisseur moyenne des horizons du profil.)



Die Variation der Bodenmächtigkeiten in den beiden Subassoziationen des *Loiseleurietum cetrariosum*.

Fig. 4. — La variation statistique des profondeurs des profils de sol des sous-associations du *Loiseleurietum cetrariosum* (1).

Ordonnée : fréquence statistique de la profondeur.

Abscisse : profondeurs observées.

(1) H. PALLMANN et P. HAFTER. « Pflanzensoziolog. u. bodenkundl. Untersuchungen im Oberengadin. » Ber. Schweiz. Bot. Ges. 1933.

végétation (fig. 5). Des groupements spéciaux relèvent la compacité du sol, le régime des eaux et de l'air.

Les groupements végétaux s'affirment toujours davantage comme indicateurs exacts des climats locaux d'une région. L'étage montagnard du Jura par exemple, avec ses hêtraies à apparence si homogène, peut être subdivisé très nettement en divers étages de végétation (1) et de sols, différenciés et caractérisés par des sous-associations du Fagetum

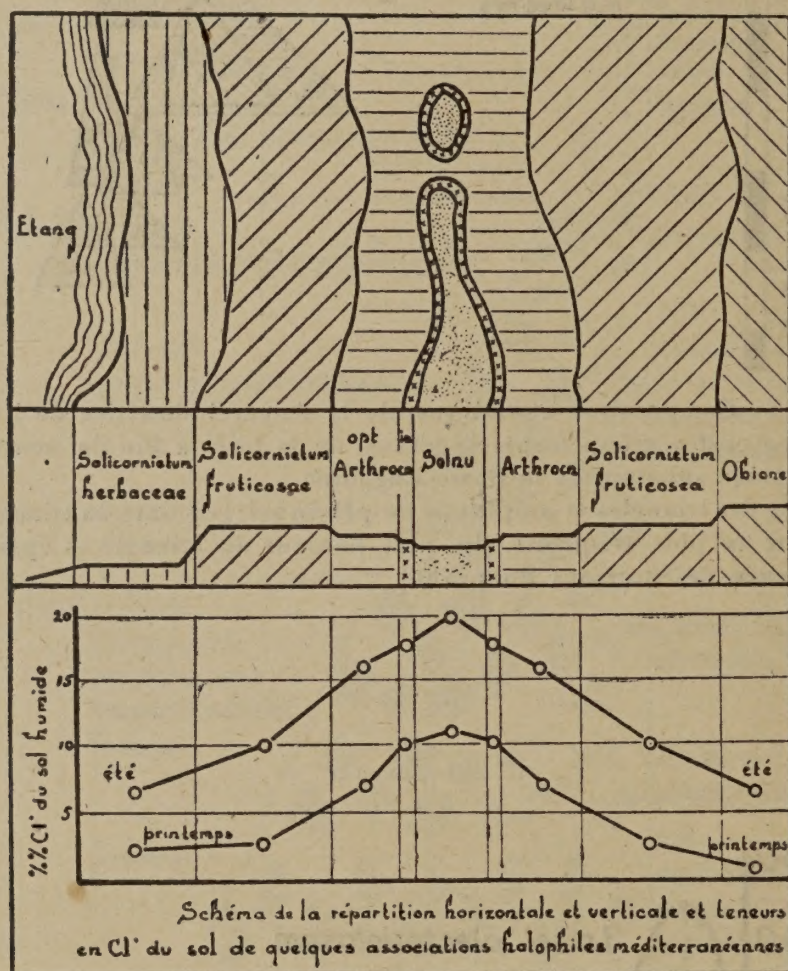


Fig. 5. — Schéma de la répartition horizontale et verticale et teneurs en Cl du sol de quelques associations halophiles méditerranéennes (d'après J. BRAUN-BLANQUET et ADRIANI, 1945).

jurassique. La répartition des seules espèces par contre ne permet pas de saisir cette subdivision en étages (Voir fig. 6).

L'étude statistique de nombreux relevés d'une même association montre la dépendance de cette association de certains facteurs du milieu : altitude, exposition ou inclinaison du sol. De ces facteurs dépendent aussi le climat local et la formation spéciale du sol et aussi ces diagrammes — montrant certains facteurs du milieu externe — deviennent des indicateurs indirects pour la formation du sol lui-même.

(1) M. MOOR, « Waldpflanzengesellschaften des Schweiz. Jura und ihre Höhenverbreitung », Journ. for. Suisse, 1947.

Voici quelques exemples d'associations forestières de l'étage subalpin très répandues dans le parc national suisse (Fig. 7 et 8).

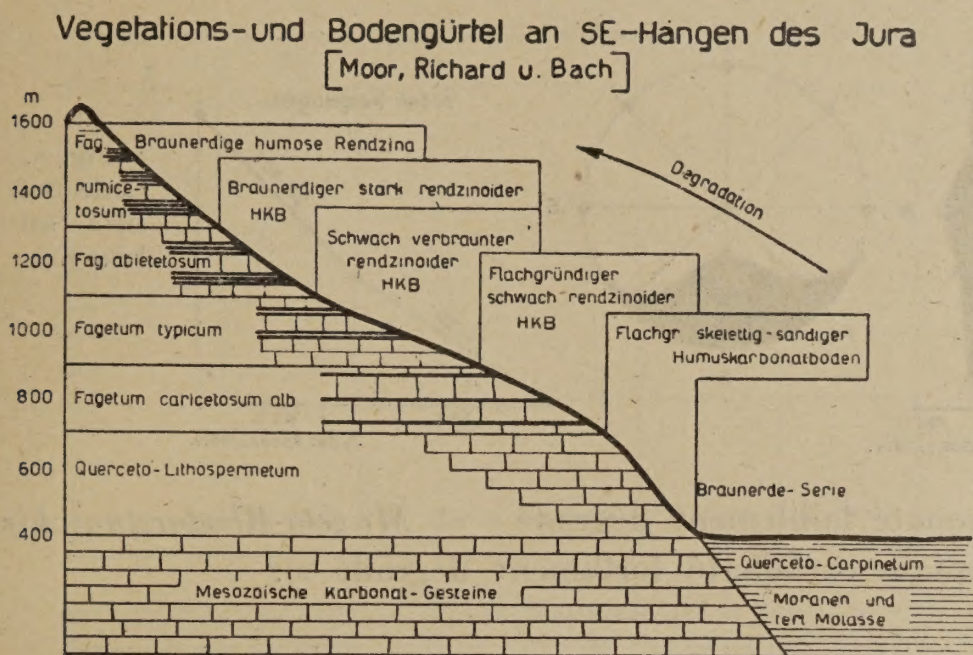


Fig. 6. — Zonation de la végétation et des sols sur les pentes sud-est du Jura.

Braunerdeserie = série de la terre brune. — Flachgründiger skelettig-sandiger Humuskarbonatboden = sol humique-carbonaté-squeletto-sablonneux et peu profond. — Flachgründiger schwach rendzinoïder Humuskarbonatboden = sol humique-carbonaté faiblement rendzinoïde peu profond. — Schwach verbraunter rendzinoïder HKB = sol humique-carbonaté rendzinoïde faiblement dégradé vers la terre brune. — Braunerdtiger stark rendzinoïder HKB = sol humique-carbonaté rendzinoïde avec forte dégradation vers la série « terre brune ». — Braunerdtige humose Rendzina = Rendzine humique à forte dégradation vers la série « terre brune ».

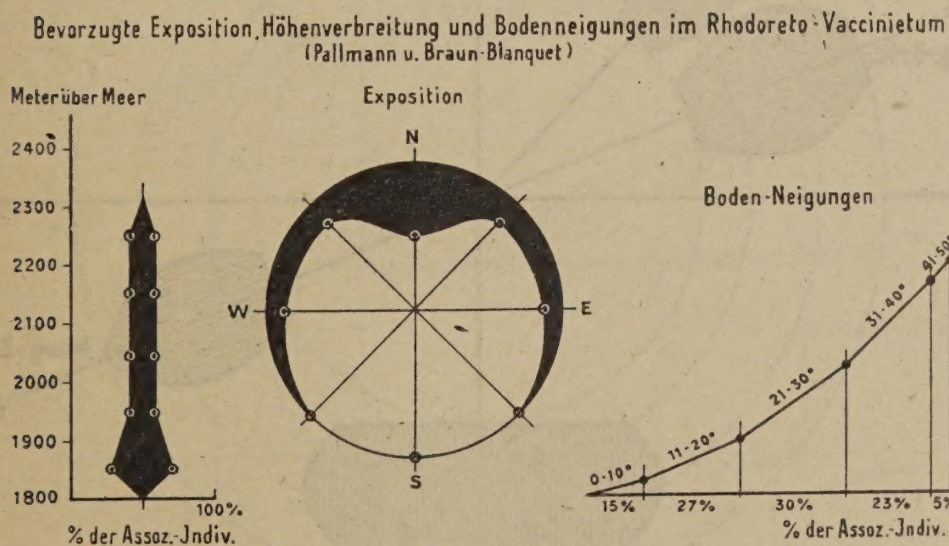


Fig. 7. — Rhodoreto-Vaccinietum à Pins sur « sol humique-carbonaté fortement dégradé » et sur « podzol ferrugineux ».

Parmi les deux extrêmes indiqués ci-dessus, il existe de nombreux groupements intermédiaires, répondant à des facteurs stationnels intermédiaires (*Mugeto-Ericetum caricetosum* sur « sol humique-car-

bonaté peu profond »; *Mugeto-Ericetum hylocomietosum* sur « sol humi-

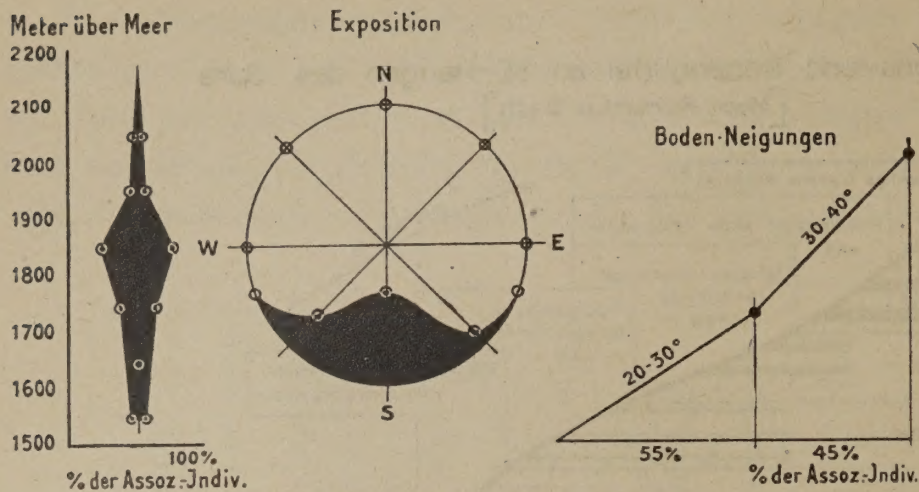


Fig. 8. — Pineto-Caricetum humilis sur sol carbonaté brut ».

que-carbonaté faiblement dégradé » et *Mugeto-Rhodoretum hirsuti* sur « sol humique-carbonaté fortement dégradé »).

Die Lichteinstrahlung in den verschiedenen Expositionen des Plan Possa Hügels (Pallmann u. Braun-Blanquet)

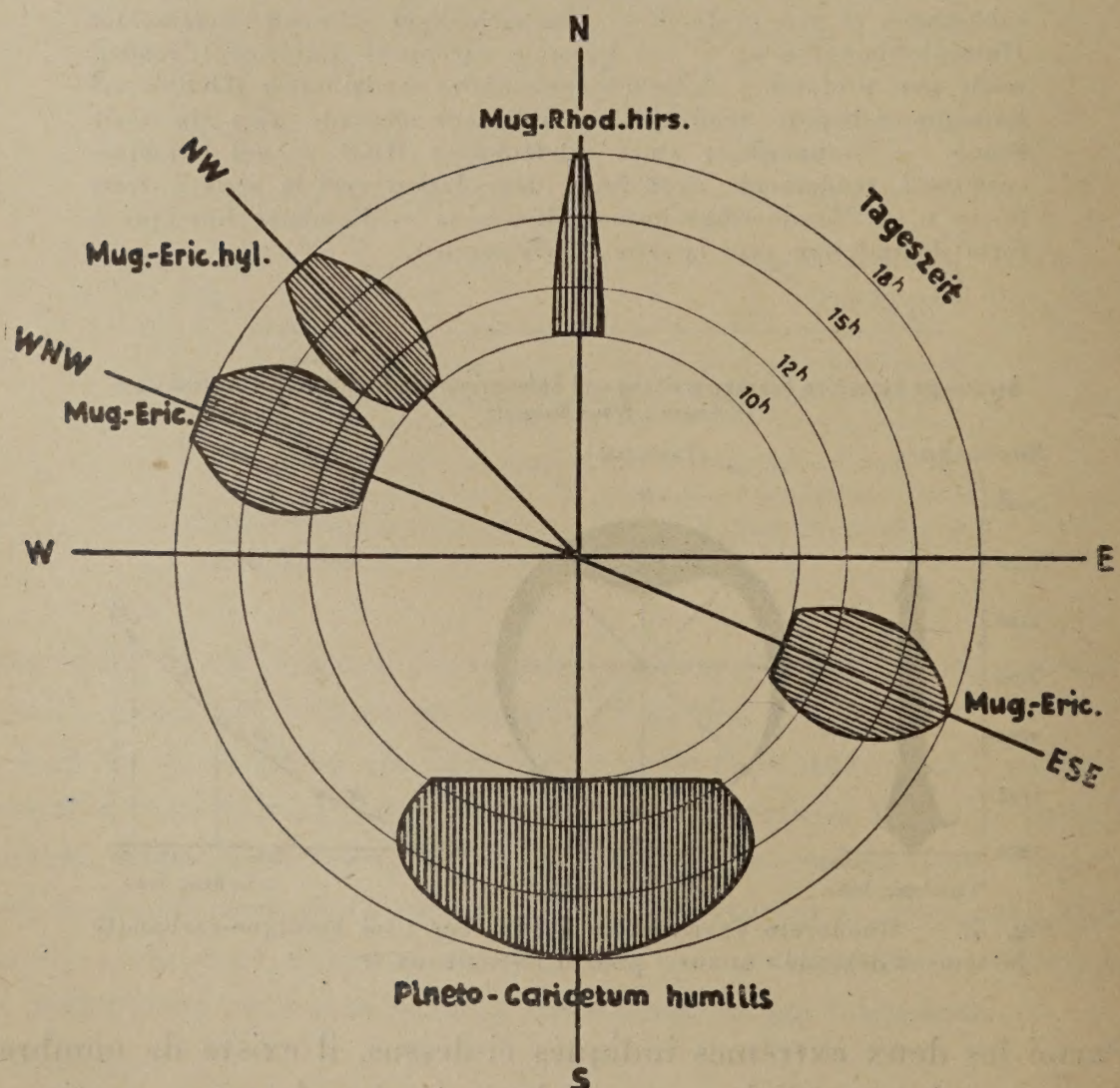
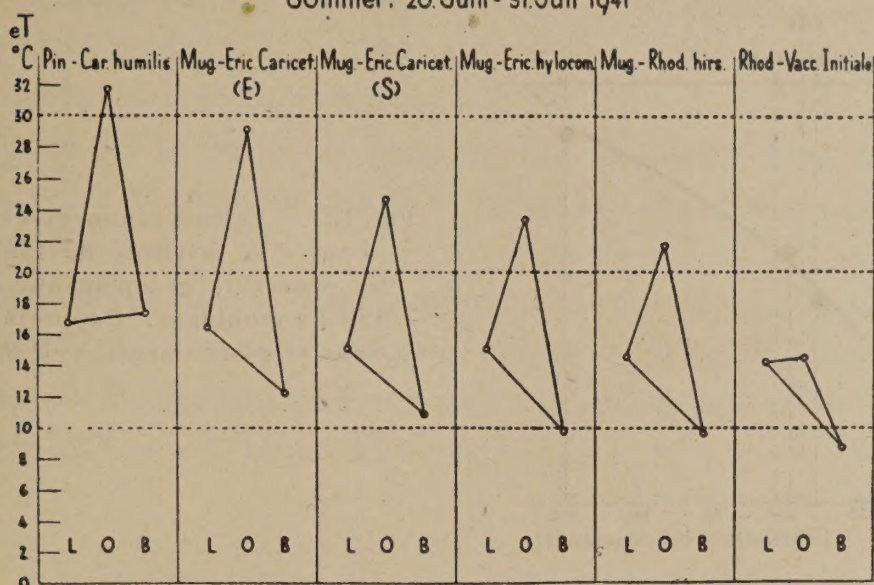


Fig. 9. — Valeurs lumineuses de différents groupements de la forêt à Pin de montagne. (Voir Chapitre C).

Mitteltemperaturen eT am Plan d. Posa-Hügel.

Sommer: 20. Juni - 31. Juli 1941



Die wirksamen Temperaturen (eT) sind im Luftraum (L), an der Bodenoberfläche (O) und im Boden (B, 10 cm Tiefe) der verschiedenen Waldböden stark verschieden.

Fig. 10. — Diagramme thermique de différents groupements de la forêt à Pin de montagne et de leurs sols (1) (voir Chapitre C, a).

(L = air à 150 cm.; O = surface du sol, B = mesuré à 10 cm. de profondeur).

Schneehöhen und Mitteltemperaturen am Plan d. Posa-Hügel.

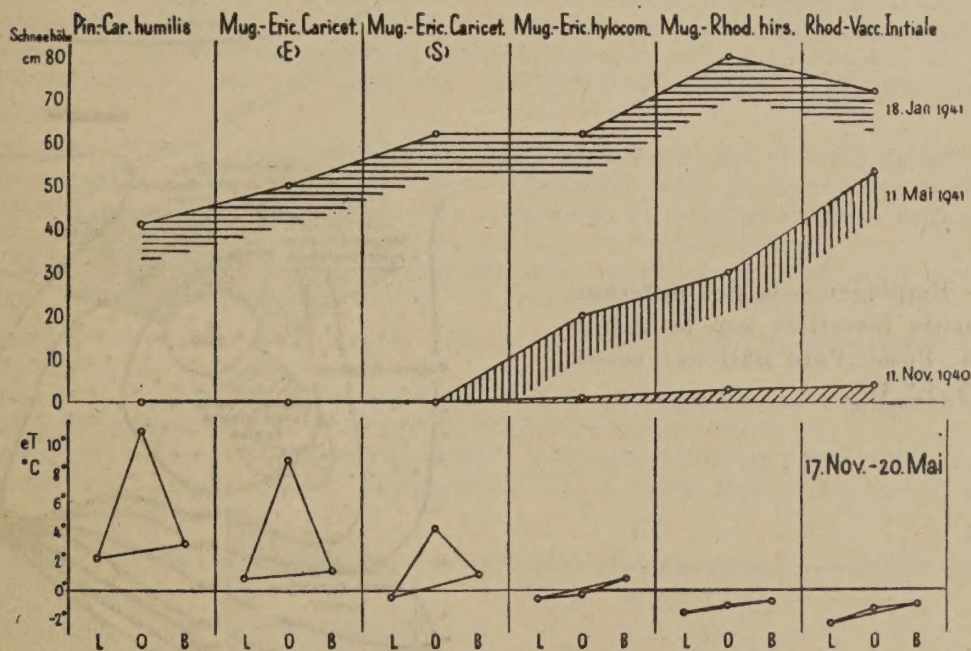


Fig. 11. — Durée de la neige et épaisseur de la couche de neige dans différents groupements de la forêt à Pin de montagne (voir Chapitre C, a).

(Schneehöhen = épaisseur de la couche de neige, Mitteltemperaturen = Température moyenne eT).

(1) H. PALLMANN et E. FREI, *Ergebn. d. wissenschaftl. Untersuchung d. Schweiz. Nationalparkes*. Vol. 1, 1943.

Les figures 9-14 montrent les rapports entre groupements définis et certains facteurs climatiques de leur milieu.

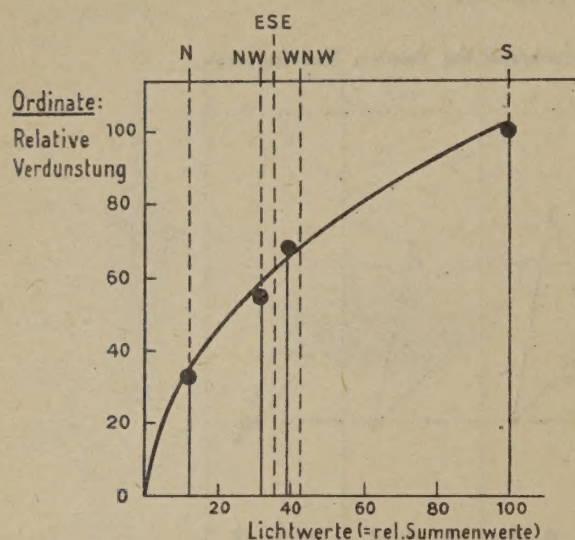


Fig. 12. — Valeurs lumineuses et évaporation (d'après la méthode de Livingston) dans les différents groupements de la forêt à Pin de montagne. (Rapports entre expositions et groupements, voir fig. 13).

C. PRINCIPAUX GROUPEMENTS FORESTIERS EN SUISSE ET LEURS PÉDOSÉRIES PRINCIPALES.

a) *Pédoséries à sols humique-carbonatés (subsérie dolomitique) du Pineto-Ericion des montagnes dolomitiques de la Basse-Engadine.*

Le *Pineto-Ericion*, groupement répandu dans les Alpes calcaires et dolomitiques, est surtout caractérisé par le Pin de montagne et *Erica*

Die Exposition der verschiedenen Waldgesellschaften am „Posa“ Hügel
(Braun-Blanquet u. Pottmann)

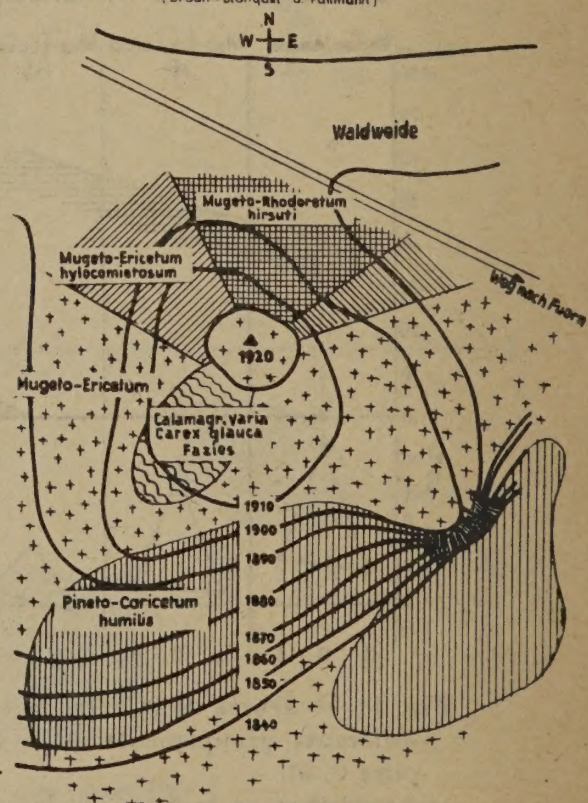


Fig. 13. — Emplacements des différents groupements forestiers sur la colline de Plan Posa (Parc national suisse, voir fig. 8, 12, 16).

carnea. Cette alliance a son optimum dans les contrées peu pluvieuses à climat plutôt continental.

Les sols (1) correspondant à ce groupement important appartiennent en grande partie à la pédosérie des « sols humique-carbonatés » et à la « rendzine ». Les associations de cette alliance — indiquées en détail dans le tableau 2 — reposent sur les variétés de sol bien caractérisées de la pédosérie précitée.

La figure 13 indique les liens étroits existant entre le relief — et implicite — les climats locaux et la situation des différents groupements du *Pineto-Ericion*.

Les groupements et leurs milieux (climat et sol) sont aujourd'hui bien connus. Ici — au parc national suisse — le travail de collaboration entre phytosociologues, pédologues, microbiologistes et zoologistes a pu être établi (Voir tableau 12 et fig. 14).

TABLEAU 12.

*Suite d'évolution des groupements forestiers et de leurs sols
sur roches dolomitiques de la Basse-Engadine (1.600-2.200 m.)
(Voir figures 3, 7-16 et tableaux 2, 10.)*

1. *Pineto-Caricetum humilis* = Forêt initiale à Pin et *Carex humilis*.
Stade initiale de la forêt à Pin. Très répandu sur pentes raides. Exposition S, SSE, SSO. Recouvrement du sol par la végétation inférieure à 20 %. Climat local nettement continental. Couche de neige peu homogène et de courte durée. Action prononcée du gel sur végétation et sol. *Sol brut dolomitique*, riche en terre fine. Taches de « sol humique carbonaté peu développé » à l'abri des Pins et de *Carex*. Forte érosion superficielle.
2. *Mugeto-Ericetum caricetosum humilis* = Forêt à Pin de montagne et *Erica*.
Exposition S, E, O. Pentes moins raides. Recouvrement du sol par la végétation plus dense (> 50 %). Couche de neige plus homogène et de plus longue durée.
Sol humique-carbonaté assez développé. Faible érosion en taches. Profils : $kA_0-kA_1-kA_2-kAC$.
3. *Mugeto-Ericetum hylocomietosum* = Forêt à Pin de montagne et *Erica*, riche en mousses.
Recouvrement du sol par la végétation supérieure à 90 %. Exposition N.-E. et N.-O. Pentes moins raides. Couches de neige homogène et de longue durée. Action faible du gel sur sol et végétation. Première apparition de *Pinus Cembra*.
Sol humique-carbonaté faiblement dégradé. Accumulation d'humus acide remarquable. Faible érosion en taches. Profil : $A_0-A_1/kA_1-kA_2-kAC-kC$.
4. *Mugeto-Rhodoretum hirsuti hylocomietosum* = Forêt à Pin (*Pinus mugo* et *Cembra*) et à *Rhododendron hirsutum*.
Pentes raides; expositions : N N-N-E, N-N-O Climats locaux à grande humidité à nuance océanique. Couche de neige homogène de longue durée.
Sol humique-carbonaté fortement dégradé et à grande épaisseur. Accumulation d'humus acide et feutré. Profil : $A_0A_1-(kA_2)-kAC-kC$. Érosion très faible, malgré inclinaison forte.

L'évolution des forêts à Pin et à *Erica* aboutit au Rhodoretto-Vaccinietum (forêt à Pins, *Rhododendron ferrugineum* et *Vaccinium*) qui correspond au *climax*. Le sol de ce stade terminal de l'évolution de la

(1) Voir H. PALLMANN et E. FREI l. c. : « Morphol., chem. u. kolloidchem. Untersuchung subalpiner Weide-und Waldböden der Rendzina-u. Podsolserie. » *Ber. Schw. Bot. Ges.*, 1944.

forêt subalpine est caractérisé dans cette subsérie dolomitique par un profil extrêmement dégradé (Voir chapitre D « sol analogues »).

Les sols appartenant aux différentes sous-associations de la forêt à Pin de montagne, sont bien distincts les uns des autres par leur morphologie, chimie et biologie (Voir fig. 14-16).

Mikroklima und Bodenbildung auf Plan d. Posa (Fuorn)

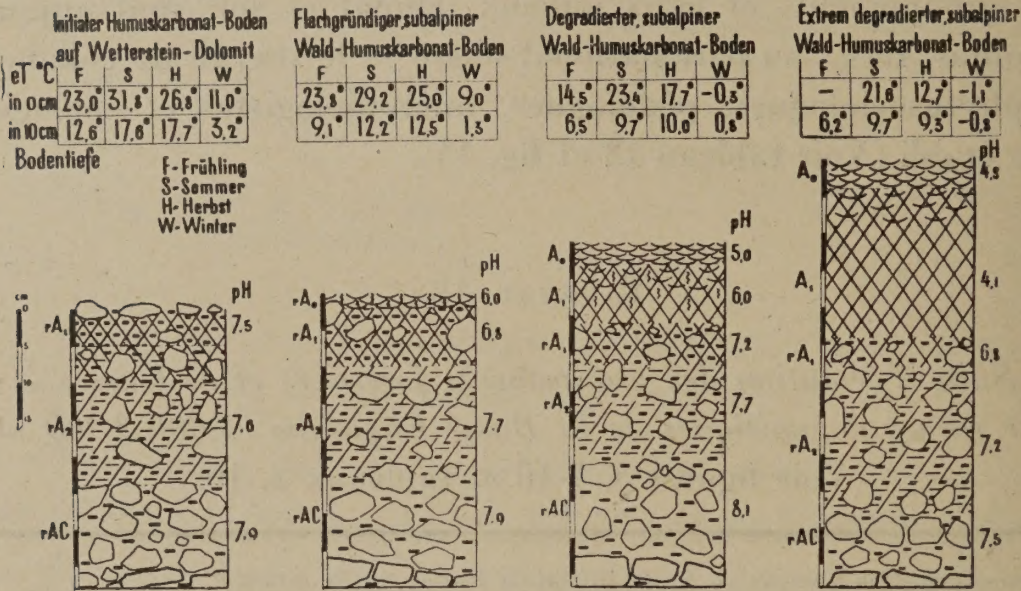
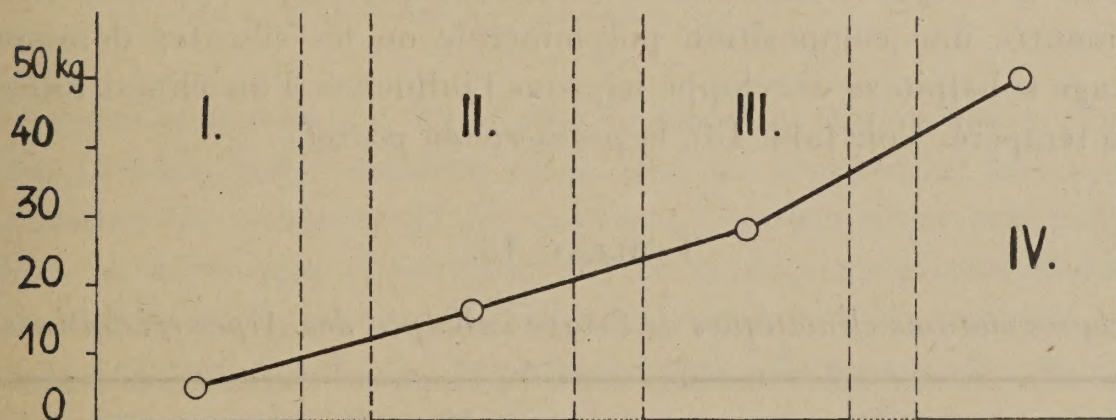
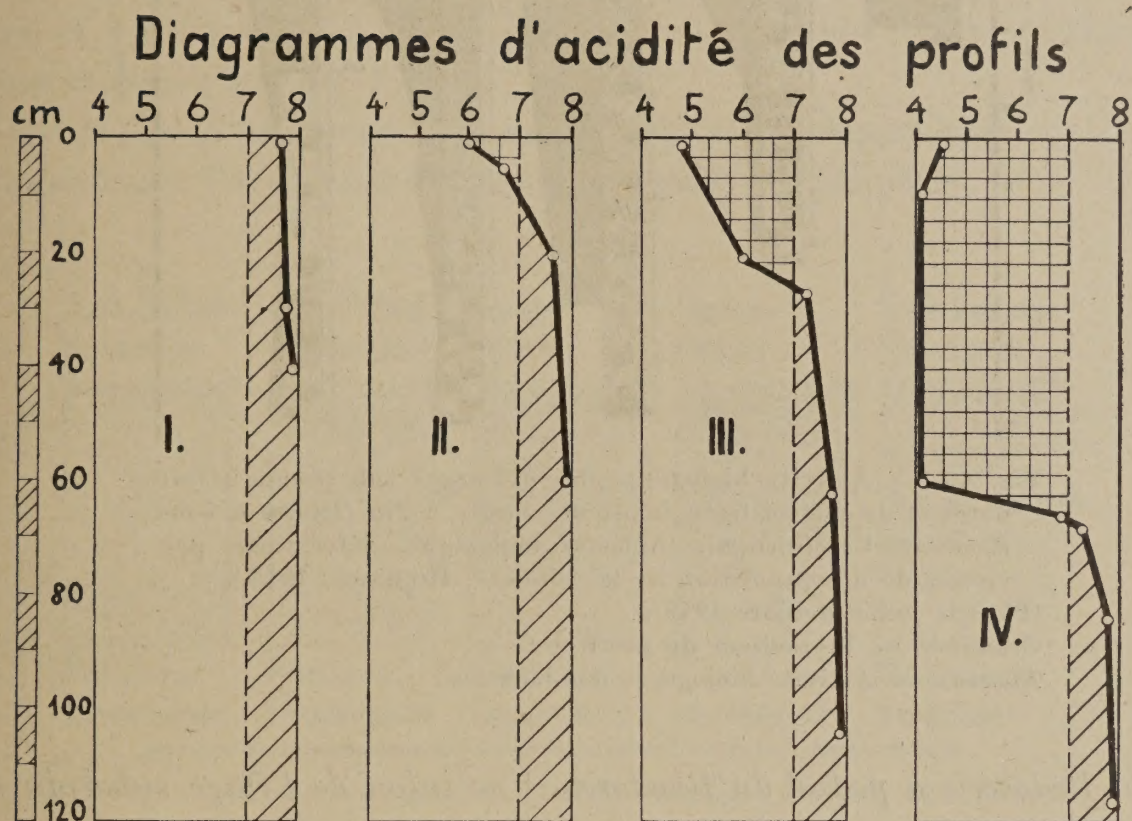


Fig. 14. — Profils des différents sols des groupements forestiers à Pin de montagne (Voir tableau 12).



Teneurs en matières organiques/m²

FIG. 15. — La dégradation des sols humique-carbonatés, démontrée par les diagrammes d'acidité des profils.

Accumulation d'humus acide (mor) dans les profils des différents sols humique-carbonatés des forêts à Pin de montagne (moyennes statistiques).

I. Sol brut dolomitique et sol humique-carbonaté initial.

II. Sol humique-carbonaté assez développé.

III. Sol humique-carbonaté faiblement dégradé.

IV. Sol humique-carbonaté fortement dégradé.

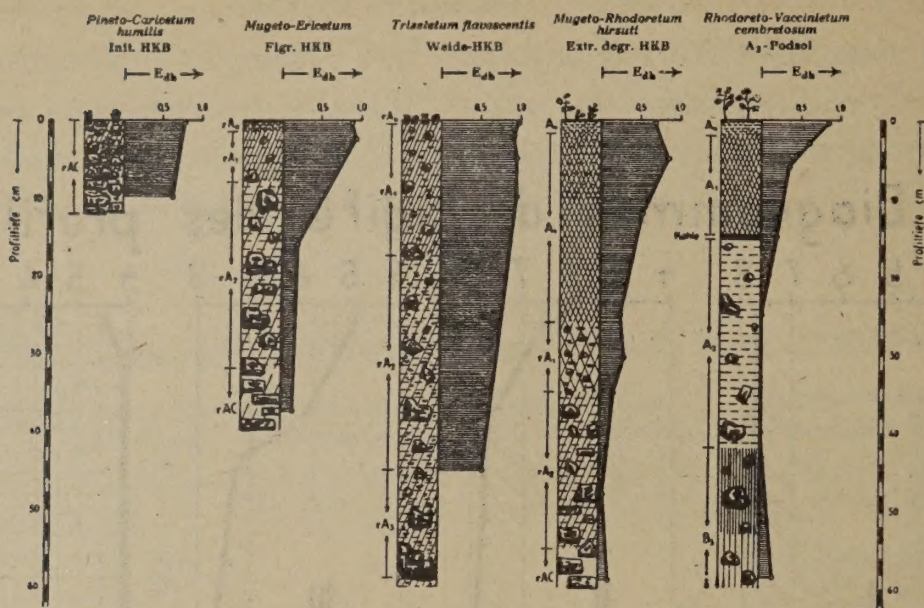


Fig. 16. — Activité biologique des différents sols humique-carbonatés et du podzol ferrugineux des forêts à Pin (*Pineto-Ericion* et *Rhodoretto-Vaccinietum*). (Activité biologique, déterminée par la vitesse de décomposition de la cellulose, RICHARD, 1945.) (Période juillet-octobre 1943).
Ordonnée = Profondeur du profil.
Abscisse = Activité biologique des horizons.

b) *Pédosérie à podzol du Rhodoretto-Vaccinon de l'étage subalpin des Alpes cristallines.*

Dans les Alpes cristallines la roche mère manque de carbonates. Elle montre une composition polyminérale où les silicates dominant. A l'étage subalpin se développe ici, sous l'influence d'un climat humide et peu tempéré (Voir tabl. 13), la *pédosérie du podzol*.

TABLEAU 13.

Quelques stations climatiques de l'étage subalpin des Alpes cristallines.

STATION	ALTITUDE	TEMPÉRATURE moyenne de l'année	PRÉCIPITATIONS annuelles
Davos	1.561 m.	2,7° C	903 mm.
Pontresina	1.777 m.	1,1° C	950 mm.
Andermatt	1.939 m.	2,7° C	1.210 mm.

En ce qui concerne le *type*, les sols de la *série* du podzol sont tous caractérisés par la percolation de sesqui-oxydes protégés par l'humus acide à haute dispersité. Le percolat caractéristique est donc donné par le complexe « Sesquihum », le filtre possède une réaction nettement acide.

Les divers groupements de cette alliance végétale se trouvent sur les différents sous-types et variétés de sol de la *pédosérie* précitée. Les

parallèles entre l'évolution des groupements et leurs sols sont remarquables. Suivant les conditions climatiques générales (climat subalpin à nuance continentale ou océanique) le climax végétal est atteint par le *Rhodoreto-Vaccinietum* (1) (forêt à Pin, Larix, *Rhododendron ferrugineum* et *Vaccinium*) ou par le *Piceetum subalpinum* (forêt subalpine à *Picea excelsa*) (Voir fig. 17).

Le *podzol ferrugineux mûr* est le mieux développé sous ces stades terminales de l'évolution des forêts à conifères acidiphiles.

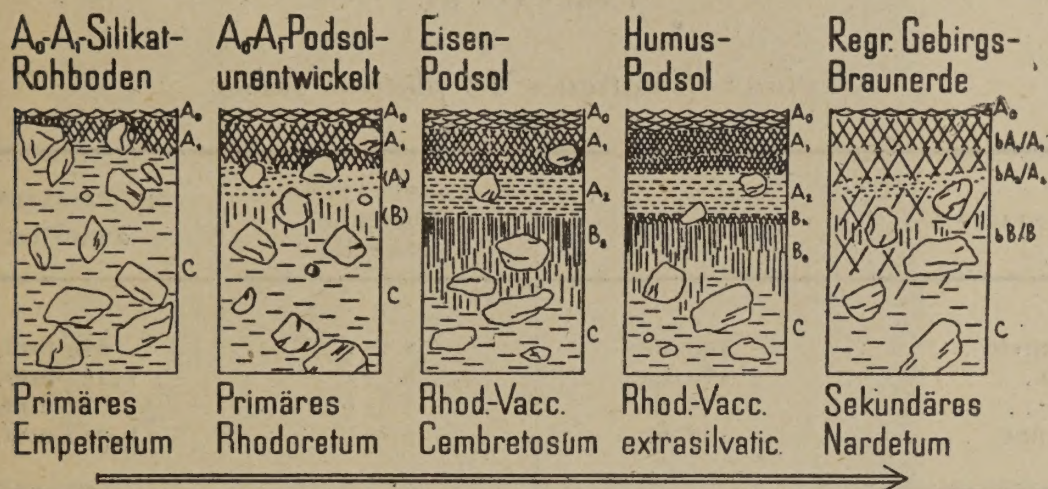


Fig. 17. — Exemple d'évolution parallèle des groupements du Rhodoreto-Vaccinietum et de leurs sols (2).

Silikatrohboden = sol silicaté brut. — Unentwickeltes Podsol = podzol peu développé, — Humuspodsol = podzol humique subalpin. — Reagr. Gebirgsbraunerde = sol brun subalpin à régression.

L'éclaircissement du *Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum* (forêt à *Pinus Cembra*, *Larix decidua*, *Rhod. ferr.* et *Vaccinium*) fait souvent disparaître les arbustes et les mousses. La graminée *calamagrostis villosa* se développe vigoureusement et la sous-association *Rhodoreto-Vacc. calamagrostidetosum* s'installe. La végétation à graminées amène à la destruction rapide des horizons feutrés d'humus acide (A₀ et A₁). Le mélange zoogène devient plus intense et transforme le profil du podzol : un podzol peu développé régressif par pâturage (Voir fig. 18).

Sous le *Rhodoreto-Vacc. extrasilvaticum* et sous les associations à arbustes nains acidiphiles — surtout à la limite supérieure de la forêt subalpine — se trouve le *Podzol humique subalpin*, caractérisé par un horizon d'accumulation de matières humiques (B_h) reposant sur l'horizon d'accumulation de sesquioxydes (B_s).

Cette variété du podzol subalpin ne doit pas être confondue avec le podzol humique des pédologues de la Scandinavie et de la Finlande : le podzol humique subalpin n'est pas dû à une nappe d'eau phréatique

(1) Voir H. PALLMANN et P. HAFTER l. c.

(2) Le Nardetum est une association à graminées n'appartenant pas à l'alliance du Rhodoreto-Vaccinietum. Il se développe souvent sans l'influence du pâturage.

élevée. Il démontre des différences remarquables avec le podzol ferrugineux ordinaire, son pouvoir de retention d'eau est plus petit, par exemple. (Voir A. SCHMUZIGER, Zurich, 1935).

c) *Développement de la végétation forestière et des sols du plateau suisse.*

Le plateau suisse s'étend entre la chaîne du Jura et celles des Alpes. Son climat humide et tempéré favorise une agriculture intensive (Voir tabl. 14).

TABLEAU 14.

Stations climatiques du plateau suisse.

STATION	ALTITUDE	TEMPÉRATURE moyenne annuelle	PRÉCIPITATIONS annuelles
Frauenfeld	405 m.	8,1° C	896 mm.
Zurich	470 m.	8,5° C	1,147 mm.
Berne	540 m.	7,9° C	922 mm.
Lausanne.	492 m.	8,9° C	1,015 mm.

Des dépôts sédimentaires mixtes (*sedimentäre Mischgesteine*) forment le sous-sol. Des alluvions récentes, des sédiments fluvio-glaciaires et interglaciaires et des roches tertiaires (molasses et poudingues) en sont les principaux éléments. La composition chimique est caractérisée par le mélange favorable de silicates et de carbonates de chaux et de magnésie. La teneur en carbonates varie le plus souvent entre 20 et 35 %.

Les forêts à feuilles caduques se présentent comme stade final de l'évolution de la végétation naturelle. Les forêts d'Épicéa sont presque toujours anthropogènes.

Suivant les différentes stations, caractérisées par leurs climats locaux et leurs sols, les forêts appartiennent à divers ordres et alliances sociologiques. Nous nous limiterons ici à la forêt à Chêne et à Charme (*Querceto-Carpinetum*) et à celle à Chêne et à Bouleau (*Querceto-Betuletum*), bien étudiées par H. ETTER (1943) (1) et F. RICHARD (2) (1945), pour démontrer leurs rapports avec le milieu, spécialement avec les sols (Voir fig. 19-21).

(1) H. ETTER, « Pflanzensoz. u. bodenkundl. Studien an Schweiz. Laubwäldern », *Mitteil Schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen*, 1943.

(2) F. RICHARD, « Der biolog. Abbau von Zellulose-und Eiweiss-Testschnüren im Boden von Wald-und Rasengesellschaften », *Mitteil. d. Schweiz. Anstalt f. d. forstl. Versuchswesen*, Vol. 24, 1945.



Fig. 18. — Podzol peu développé régressif par pâturage du *Rhodoreto-Vaccinietum calamagrostidetosum*.
Par l'activité biologique élevée l'accumulation d'humus acide a disparu et les horizons autrefois bien délimités sont mélangés.

La Pédosérie à terre brune est bien typique pour ces groupements.

Zusammenhang zwischen Pflanzengesellschaft und
orographischen, geologischen und Boden-Verhältnissen.

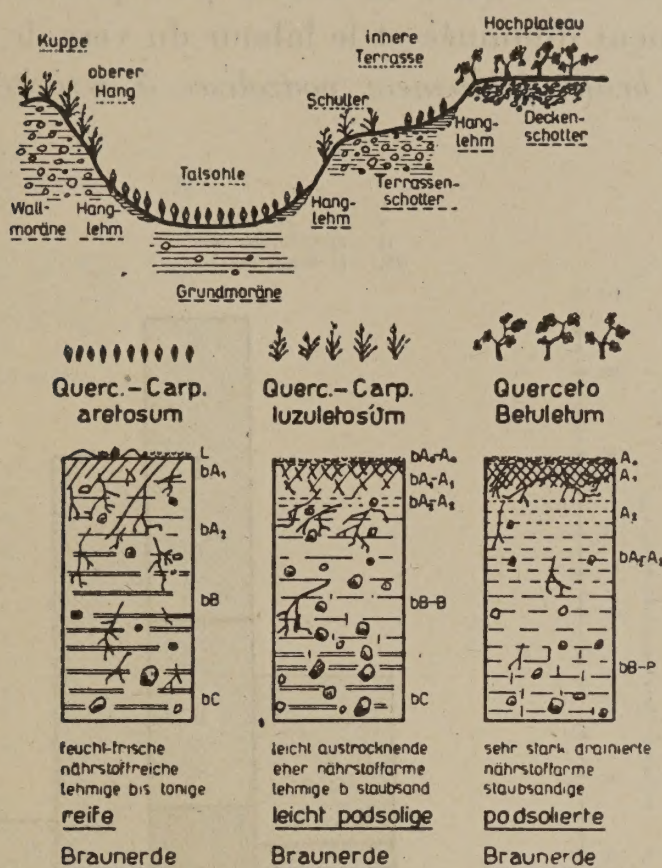


Fig. 19. — Rapports entre les groupements forestiers et l'orographie, la géologie et le sol.

Reife Braunerde = Terre brune mûre. — Leicht pods. Braunerde = Terre brune faiblement podzolisée. — Pods. Braunerde = Terre brune podzolisée.

Le *Querceto-Carpinetum aretosum* se trouve sur la *terre brune mûre* à *activité biologique élevée*. Le profil possède les propriétés du type de la terre brune de façon idéale : les ions alcalino-terreux en forment le percolat caractéristique. La migration des sesquioxides n'a pas lieu. L'argile est stable et ne se déplace pas dans le filtre à saturation moyenne. Les animaux terrestres arrivent à mélanger les différentes parties du profil, les horizons ne montrent pas des limites marquées. L'horizon bA_1 est formé par un mull coprogène bien mélangé avec les matières inorganiques.

Le sol de cette sous-association *Q.-C. aretosum* est *lehmeux*, même *argileux*, riche en matières nutritives et d'une humidité favorable et bien équilibrée.

Le *Querceto-Carpinetum luzuletosum* s'installe de préférence sur les coupes des collines où le lessivage est accentué. La perte endopercolative des ions Ca et Mg est prononcée, l'acidification du sol est remar-

quable et la dégradation de la terre brune caractérise le profil. Le mull commence à se transformer et couvre en mor les horizons minéraux; souvent la migration de l'argile et des sesquioxydes différencie le profil en divers horizons de mieux en mieux perceptibles. L'activité biologique est nettement diminuée et le labour du vers de terre devient très faible. *La terre brune faiblement podzolisée à activité biologique faible*

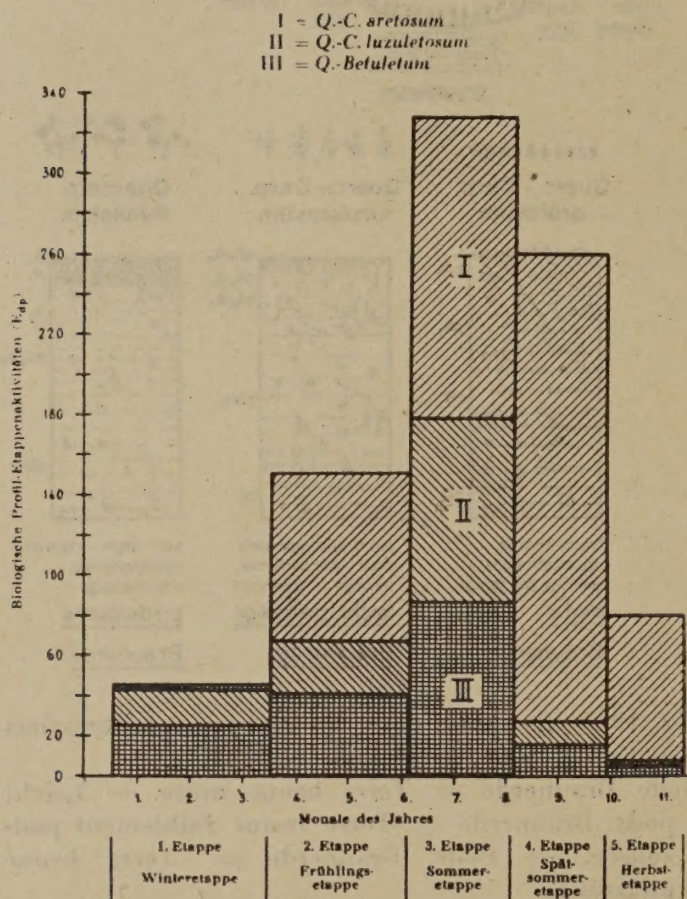


Fig. 20. — Activité biologique des sols sous *Querceto-Carpinetum* et *Querceto-Betuletum* (Richard, 1945).

Ordonnée = Activité biologique. (Voir fig. 16).

Abscisse = Mois de l'année.

et pauvre en matières nutritives est caractéristique pour cette sous-association.

Le *Querceto-Betuletum* se trouve sur les anciennes terrasses élevées du Decken-Schotter, un pseudo-poudingue Günz-mindélien. La porosité de cette roche sous-jacente accélère le lessivage du sol. La dégradation est avancée et l'activité biologique est devenue minime. La formation d'une couche d'humus acide sur des horizons palâtres, fortement lessivés, est caractéristique. Les profils d'une compacité plus élevée (structure primitive, sans grumeaux stables) montrent un déséquilibre du régime d'eau. Les périodes humides et sèches alternent durant l'année. Dans ce cas la forêt à Chênes et à Bouleaux couvre un *sol marbré*

très acide et biologiquement inactive. (Sol marbré de la série de la terre brune dégradée.)

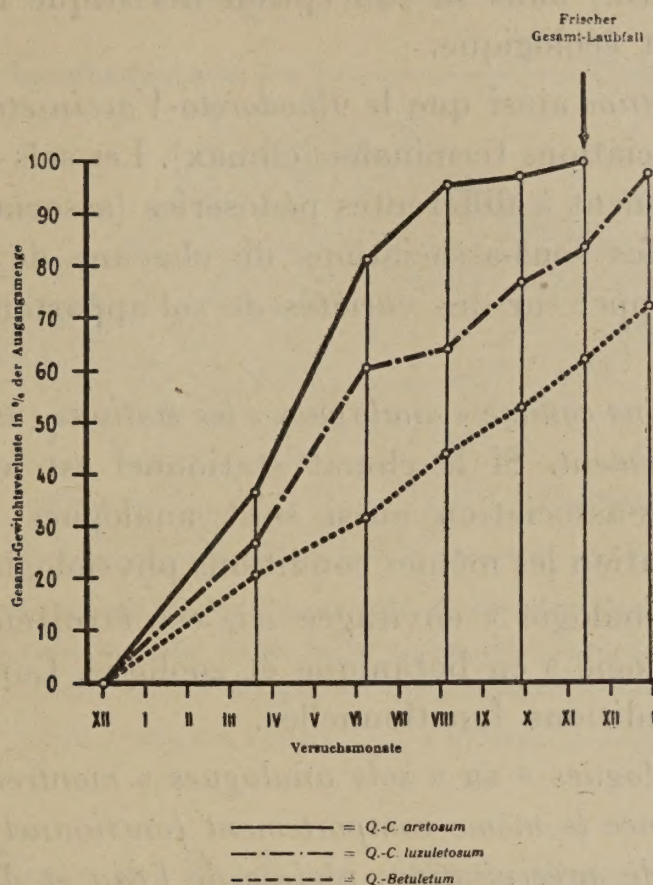


Fig. 21. — La vitesse de décomposition de la litière dans le *Querceto-Carpinetum* et le *Querceto-Betuletum* (Richard, 1945).

Frischer Gesamt-Laubfall = quantité totale de la litière. — (Ordonnée = Décomposition en %. — Abscisse = Mois de l'année).

D. — LA NOTION « SOL ANALOGUE » ET « MILIEU ANALOGUE » DANS LA PHYTOSOCIOLOGIE ET LA PÉDOLOGIE.

Le phytosociologue écrit : « A chaque association végétale correspond un profil de sol avec ses caractères physico-chimiques et biologiques propres » (BRAUN-BLANQUET, 1944).

Quelle est la position du pédologue vis-à-vis de cette thèse? Toutes les forêts du *Rhodoreto-Vaccinietum* croissent-elles vraiment sur le même sol? Que signifie en ce cas le terme « sol »? S'agit-il dans la thèse précitée de l'association ou d'une unité inférieure (sous-association, facies)?

Considérons l'association du *Querceto-Carpinetum* (association à Chêne et Charme) : En Suisse, cette association comprend (Voir H. ETTER, 1943) différentes sous-associations, qui se distinguent entre elles aussi par leurs milieux et par leurs sols. Ainsi le *Querceto-Carpinetum calcareum* croît sur des « sols humique-carbonatés », le *Q.-C. aretosum* indique une « terre brune mûre et biologiquement très active » (Voir F. RICHARD, 1945). Au *Q.-C. luzuletosum* correspond une « terre brune dégradée, légèrement podzolisée. »

Les différences floristiques qui distinguent les sous-associations sont le résultat des variations du milieu. Il apparaît donc, que le système sociologique (Br.-Bl.) dans sa conception floristique repose également sur un fondement écologique.

Le *Q.-Carpinetum* ainsi que le *Rhodoreto-Vaccinietum* sont à considérer comme associations terminales (climax). Les sols de ces deux associations appartiennent à différentes pédoséries (associations pédo-poly-sérielles). Même des sous-associations de chacune de ces associations peuvent se développer sur des variétés de sol appartenant à différentes pédoséries.

Nous considérons comme « analogues » les stations (milieux, Standorte) d'un même groupement. Si le climat stationnel est le même, les sols d'une même sous-association aussi sont analogues, c'est-à-dire ils offrent à la végétation les mêmes conditions physiologiques.

La notion « analogie » envisagée ici, est étroitement comparable à la notion « analogie » en botanique et zoologie. Comme celle-ci, elle rapporte aux conditions fonctionnelles.

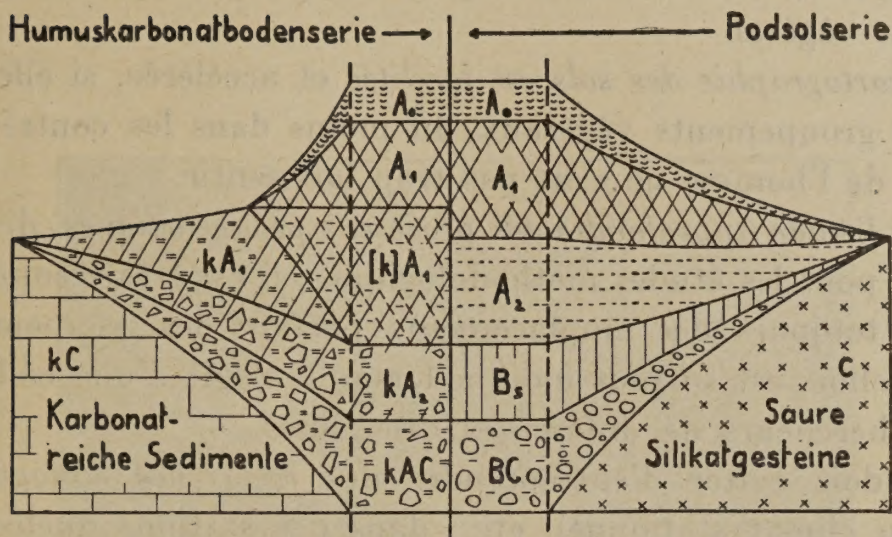
« Milieux analogues » ou « sols analogues » montrent vis-à-vis d'une végétation déterminée le même comportement fonctionnel : régime de température, régime de précipitation, régime de l'eau et d'aération, acidité, teneur en matières nutritives, activité biologique, etc.

Des sols analogues peuvent prévenir d'une pédogenèse très différente et de ce fait ils peuvent être situés dans des compartiments systématiques tout différents.

Le *Rhodoreto-Vaccinietum* servira d'exemples pour expliquer cette notion nouvelle en pédologie. A l'étage subalpin il s'établit sur roches calcaires un profil de la pédosérie à « sol humique-carbonaté » ou à « rendzine ». La forêt climax du *Rhodoreto-Vaccinietum* s'y installe seulement lorsqu'un horizon suffisamment épais d'humus acide recouvre ce profil du sol humique-carbonaté, offrant à la végétation acidophile des conditions favorables de croissance et de rajeunissement de cette forêt. Le *Rhodoreto-Vaccinietum* exige un profil profond de « sol humique-carbonaté fortement dégradé. » (Voir fig. 22).

Sur sous-sol siliceux l'évolution du sol climax et de la végétation aboutissant au *Rhodoreto-Vaccinietum* est raccourcie et diffère essentiellement : cette association s'installe sur les variétés du podzol. Sur ces sols la forêt se développe rigoureusement. L'analogie avec les « sols humique-carbonatés fortement dégradés » se reconnaît à la concordance morphologique, physique, chimique et biologique des horizons biogènes du profil. Par rapport au *Rhodoreto-Vaccinietum* les « sols humique-carbonatés fortement dégradés » et les variétés du « podzol » sont analogues (Voir fig. 23).

Analoge Böden



Auf Karbonat- und auf Silikatgesteinen entwickeln sich verschiedene Boden-Serien. Die Entwicklung der beiden Serien gipfelt unter humidem Klima in analogen Böden, die von der gleichen Klimaxgesellschaft besiedelt sind.

Fig. 22. — Sols analogues appartenant à différentes pédoséries.

Analoge Böden des Rhodoreto - Vaccinietum Waldes

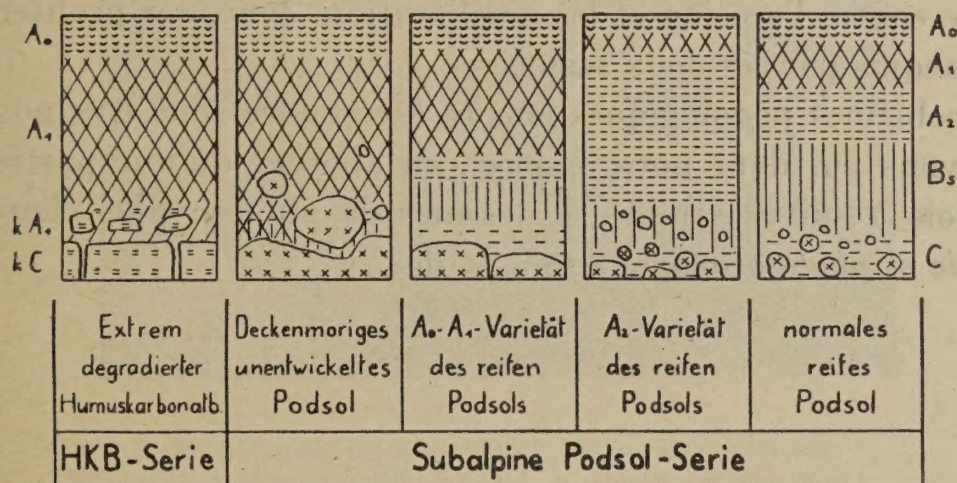


Fig. 23. — Sols analogues du Rhodoreto-Vaccinietum appartenant aux pédoséries à podzol et à sol humique-carbonaté.

E. — DE L'UTILITÉ D'UNE COLLABORATION ENTRE LA PHYTOSOCIOLOGIE ET LA PÉDOLOGIE.

La sociologie végétale est devenue pour le pédologue une aide indispensable; les groupements végétaux constituent pour lui des indicateurs très précieux du milieu et des sols.

a) *La formation des sols ne procède pas par sauts.* — Dans une contrée donnée on rencontre les différentes variétés de sol avec toutes leurs transitions. Les associations végétales constituent des points d'appui distincts pour les différents degrés d'évolution du sol. A ces points d'appui

l'étude du sol et des facteurs stationnels en général doit débiter. Dans la formule bien connue : « La formation du sol = f (climat, végétation, roche mère, etc.) », le facteur « végétation » est défini le mieux par le groupement végétal.

b) *La cartographie des sols est facilitée et accélérée*, si elle s'oriente d'après les groupements végétaux, du moins dans les contrées où l'intervention de l'homme ne s'est pas trop fait sentir.

c) *Pour l'étude approfondie des processus pédogénétiques*, de l'activité biologique, pour les études méthodologiques, il est très recommandable de choisir toujours des emplacements portant des groupements bien définis. Le choix est surtout indiqué lorsqu'il s'agit d'une collaboration entre les chercheurs de différentes disciplines.

d) On doit éviter d'entreprendre des *recherches écologiques* (par exemple du climat stationnel, etc.) dans des stations quelconques et atypiques. La station à étudier ne devrait pas seulement présenter un profil de sol caractéristique, mais aussi un groupement bien circonscrit.

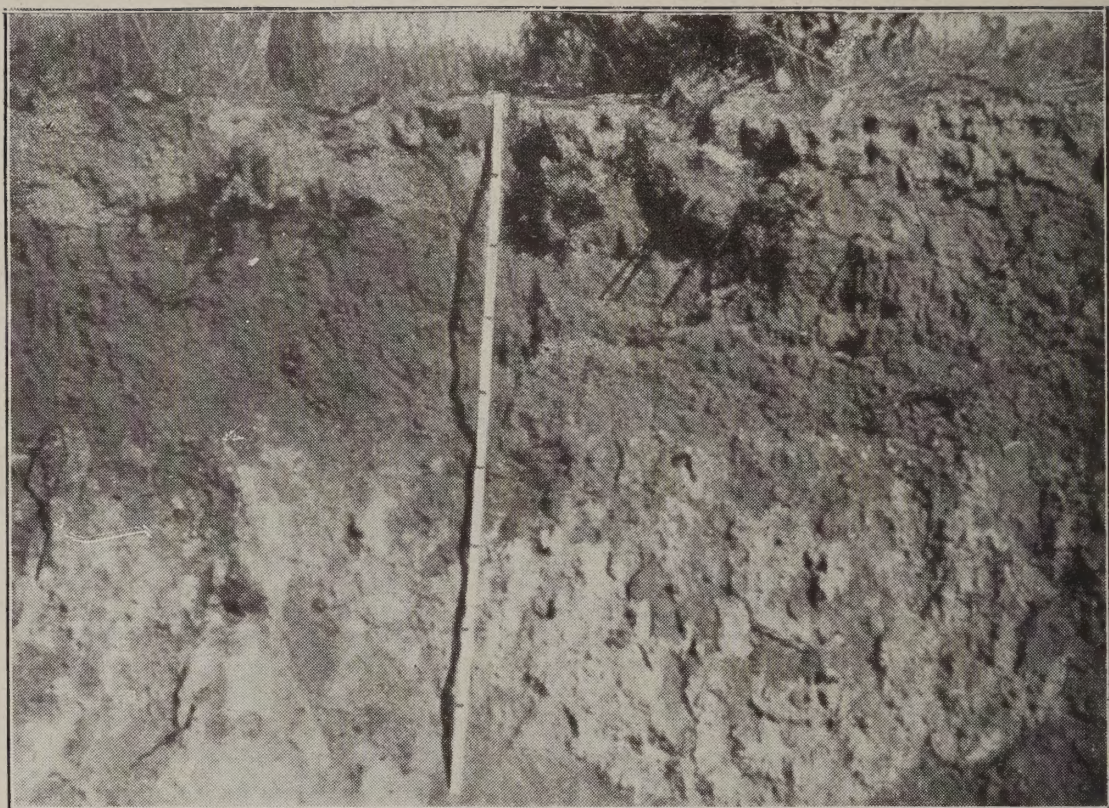
e) *Aux agriculteurs, forestiers, ingénieurs du génie rural* de s'orienter davantage vers les recherches phytosociologiques et pédologiques ! Les reboisements, les transformations des peuplements forestiers, les travaux de défense contre l'érosion et les améliorations foncières profiteront des résultats acquis par ces deux sciences.

Les problèmes pédologiques encore à résoudre sont très nombreux. Nous n'avons pu, dans notre exposé, en aborder qu'une partie. Pourtant la voie à suivre semble se dessiner de plus en plus clairement : « *Pédologie et phytosociologie* » sera la devise !



France, près de Montpellier. Terra rossa pierreuse
et sol craquelé profondément en chaux calcaire dure.

France. Near Montpellier.
Truncated stony terra rossa, with soil in deep wide cracks
in hard limestone.



Près de Montpellier. Profil de sol rouge brun, d'ancienne culture,
sur terrasse élevée.

France. Near Montpellier. Profile of long-cultivated
reddish-brown soil on high terrace.



Un groupe de Congressistes en France.
Congressists in France.



Le professeur BRAUN-BLANQUET devant les « Terres Rouges » à Montpellier.
Prof. BRAUN-BLANQUET, by the "Red Soils" at Montpellier.



France, près de Lesperau. Vue du sous-bois, châtaigniers sur sol brun de forêt, s'étendant vers une prairie de montagne sur schiste.

France. Near Lesperau. View of cover, nearly pure chestnut on brown forest soil, tending toward mountain Meadow from schist.



France. Près de La Parcelette, sud-est d'Arles. Vue de Solontchak; la végétation consiste presque uniquement en *Salicornes*.

France. Near la Parcelette, southeast of Arles.
A view of Solonchak. Vegetation mainly *Salicornia*

LA CARACTÉRISATION DES CLIMATS LOCAUX

Par H. GESLIN,

Directeur central de Recherches de bioclimatologie.
Institut national de la Recherche agronomique (Versailles).

Sommaire.

INTRODUCTION.

ANALYSE DES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DU CLIMAT LOCAL.

1. La température.
 - La notion de variabilité.
 - La notion de fréquence.
 - La notion de rythme journalier.
 - La température du sol; profils thermiques.
2. Les précipitations, l'humidité et l'évaporation.
 - Les précipitations.
 - L'évaporation.
 - L'humidité du sol et les profils hydriques.
 - L'humidité de l'air, le déficit de saturation.
3. Le rayonnement solaire et le facteur lumière.
 - La radiation globale.
 - Radiation globale et température de l'air.
 - Radiation globale et température du sol.
 - Radiation globale et facteur lumière.
 - Durée d'insolation.
 - Durée du jour.

LES SYNTHÈSES CLIMATIQUES. — INDICES ET FONCTIONS CLIMATIQUES ET ÉCOLOGIQUES, CLIMOGRAMMES ET PHYTOCLIMOGRAMMES.

1. Le complexe chaleur-eau.
 - Indices et formules climatiques.
 - Précipitations, drainage et évaporation du sol.
2. Le complexe chaleur-lumière.
 - Étude du rapport $\frac{\text{Radiation globale}}{\text{Température}}$.
 - Les seuils écologiques. — Les fonctions écologiques.
3. Les représentations graphiques des climats.
 - Les climogrammes.
 - Climogrammes et phytoclimogrammes.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Introduction.

On se propose de faire le point d'une question trop souvent irritante, trop souvent mal posée, à laquelle il n'est pas toujours possible de donner une réponse même approximative, faute de la documentation de base nécessaire : celle de la caractérisation des climats locaux.

L'idée de climat se rapporte, en effet, d'abord à un lieu, à une station. En chaque lieu existent un rythme climatique journalier, saisonnier ou annuel caractéristique. Ce sont ces rythmes particuliers, groupés autour des schémas représentés par les moyennes qu'il importe de définir et qui confèrent à chaque climat son individualité, sa physionomie propre. Sans doute, au-dessus des climats locaux, peut-on concevoir un climat régional comprenant l'ensemble des stations soumises aux mêmes influences générales d'ordre atmosphérique, géographique ou tellurique, dont les climats locaux constituent alors les facies particuliers. De même, a-t-on pu introduire, à l'opposé de la notion de climat régional, celle plus récente de micro-climat qui constitue une étape nouvelle et nécessaire dans la voie de l'analyse de l'habitat. Le climat local demeure cependant le fait fondamental. C'est de lui dont dépend en définitive, la connaissance des données de référence indispensables à tous ceux qui se préoccupent de l'étude de la répartition des différentes formes de vie à la surface du globe.

Dans la première partie de cet exposé, nous verrons sur quels points doit porter plus spécialement l'analyse de chacun des éléments météorologiques du climat. Les notions de durée, de répartition, d'écart et de fluctuation des phénomènes dans le temps prennent ici toute leur importance. On se limitera à l'étude des éléments climatiques servant à définir les trois facteurs essentiels du climat : la chaleur, l'eau et la lumière. Mais le climat forme un tout. Il correspond à une synthèse, où viennent se fondre les actions réciproques et simultanées de tous les éléments climatiques agissant et réagissant tous ensemble et les uns au travers des autres. Bien qu'une telle synthèse soit théoriquement impossible à réaliser complètement, vu la complexité même des phénomènes en jeu, des solutions partielles peuvent être trouvées à partir de fonctions simples, où entrent comme variables deux ou plusieurs éléments du climat. On aboutit alors à des expressions numériques ou à des représentations graphiques simples. C'est ce que nous examinerons dans la dernière partie de cet exposé.

Analyse des éléments constitutifs du climat local.

1. LA TEMPÉRATURE.

Le plus souvent, les observations publiées par les services météorologiques, le sont sous forme de tableaux, où sont consignées mensuellement, à côté des températures moyennes, les moyennes des températures maxima et minima, ainsi que les températures absolues extrêmes. Ces données, nécessaires pour « situer » un climat, sont insuffisantes pour le « caractériser ». Il faut souhaiter que les météorologistes s'occupant de climatologie, malgré les calculs fort longs que cela représente, puissent entreprendre ou poursuivre un dépouillement systématique des séries d'observations existantes, basé sur les valeurs journalières elles-mêmes. Ainsi biologistes, agronomes, botanistes, géographes et pédologues auront à leur disposition les éléments de base indispensables à leurs travaux. A cet égard on doit citer deux essais récents particulièrement suggestifs, dus le premier à E. BERNARD (3) sur le climat écologique de la cuvette congolaise, le second à P. SELTZER (41) sur le climat de l'Algérie.

La notion de variabilité. — Depuis longtemps déjà, les météorologistes ont proposé d'introduire à côté de la notion de valeur moyenne et de valeur limite ou extrême, celle de variabilité et de fréquence. L'idée de variabilité repose sur le fait que, dans une région donnée, un élément déterminé subit d'une unité de temps à la suivante, d'un jour à l'autre par exemple, des variations distribuées plus ou moins au hasard autour de la moyenne. La notion de variabilité précise alors l'ampleur et les limites de ces variations. Si le degré de plasticité des espèces traduit la possibilité pour les organismes de s'adapter plus ou moins facilement à certaines vicissitudes du climat, inversement la notion de variabilité renseigne sur le caractère plus ou moins régulier d'un climat et a, de ce fait, un sens écologique profond et évident (E. BERNARD).

La variabilité interdiurne de la température se calcule en faisant successivement les différences entre la température d'un jour donné et celle du jour suivant, pour une période déterminée, le mois par exemple, en additionnant ces différences, abstraction faite de leur signe, et en divisant le nombre obtenu par le nombre de jours. C'est en fait l'écart moyen d'une observation $\varepsilon = \pm \frac{\sum \delta}{n}$ ou δ est l'écart d'une observation par rapport à la moyenne arithmétique des n obser-

vations considérées. On lui donne parfois le nom de coefficient de variabilité. On représente encore cette dernière par l'écart type $\sigma = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{n-1}}$. La variabilité moyenne des températures mensuelles ou annuelles se calcule de la même manière en partant des observations relatives à une série d'années suffisamment longue. La variabilité absolue s'exprime enfin par les maxima et les minima absolus mensuels.

En fait, dans la littérature météorologique, c'est surtout de cette dernière variabilité dont il est fait mention. Les valeurs extrêmes qu'elle permet de dégager constituent évidemment un facteur d'élimination des organismes les moins plastiques, mais jouent probablement un rôle négligeable dans l'adaptation proprement dite des espèces, ces cas extrêmes ne se produisant que rarement. Par contre on possède peu de renseignements sur les variabilités moyenne ou interdiurne appliquées soit aux moyennes, soit aux extrêmes, soit aux amplitudes elles-mêmes (différences maximum-minimum). Pour ces différentes variabilités, E. BERNARD a ainsi trouvé pour YANGAMBI au Congo belge, les chiffres suivants, calculés pour une période de cent vingt jours consécutifs : pour les températures maxima 20^o4, pour les minima 0^o9, la moyenne 10^o1 et les amplitudes 20^o8. Les variabilités élevées des amplitudes et des maxima s'expliquent par l'importante variabilité interdiurne de la durée de l'insolation journalière.

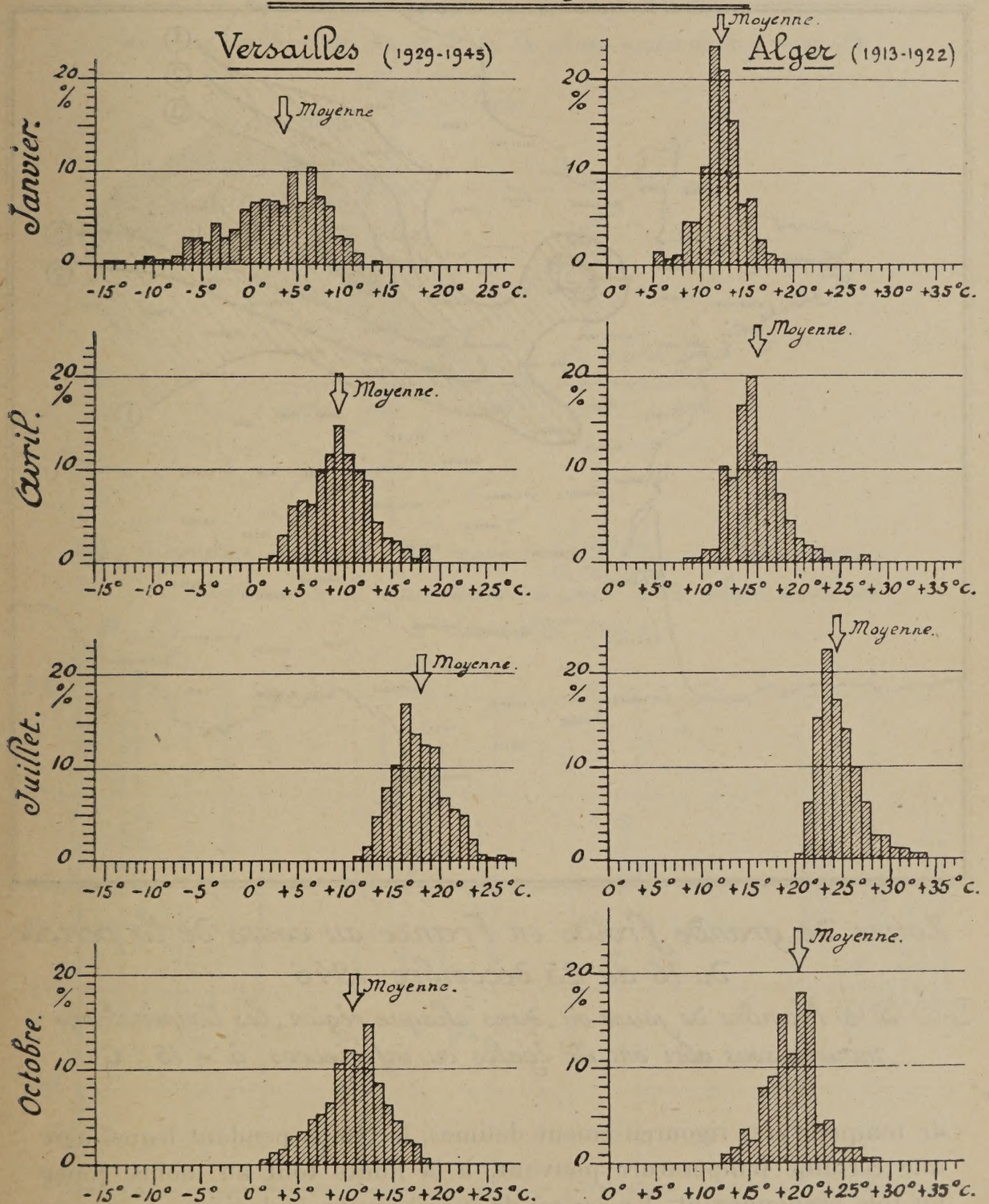
La notion de fréquence. — C'est déjà une notion plus familière, utilisée plus fréquemment. Dans sa forme élémentaire, une courbe de fréquence permet de préciser le degré de dispersion d'une série de valeurs individuelles autour de la moyenne de la série. Les diagrammes de la figure 1 donnent les polygones de fréquence des températures moyennes journalières pour Versailles et Alger. D'une manière générale, la dispersion des températures est beaucoup plus faible à Alger qu'à Versailles. Le maximum des courbes de fréquence, qui coïncide sensiblement avec la moyenne mensuelle (figurée sur les diagrammes par des flèches) n'atteint cependant, dans le cas le plus favorable, que 23 % de l'ensemble des observations. A Versailles, la dispersion est surtout prononcée en janvier; la courbe de fréquence est aplatie, le maximum correspond à peine à 10 % du total, la moyenne journalière oscille entre — 15^o et + 14^oC soit un écart de 29^o. On notera qu'une température de 14^oC peut aussi bien s'observer en janvier qu'en juillet, aux époques normalement les plus froides ou les plus chaudes de l'année.

Comme précédemment pour la variabilité, la notion de fréquence peut s'appliquer non seulement aux moyennes, mais encore aux extrêmes, aux amplitudes, à la variabilité elle-même, etc... On peut d'ailleurs se

proposer plus simplement de rechercher le nombre de fois où a été observée une température soit supérieure, soit inférieure à une certaine

fréquence des températures moyennes journalières

fig 1

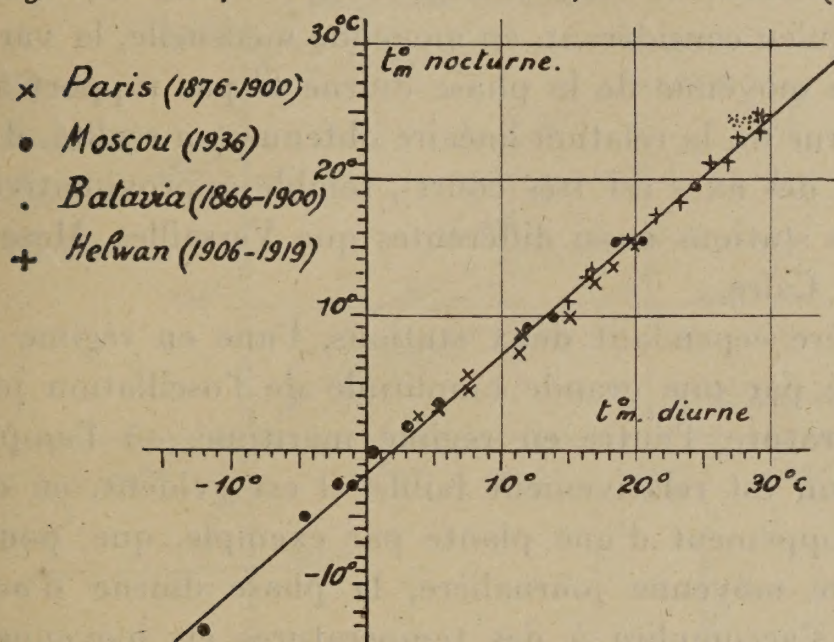


valeur. Ainsi (fig. 2) la rigueur d'un hiver s'appréciera en notant le nombre de jours où une certaine température minimum aura été observée. Ici se pose la question essentielle de la détermination des seuils

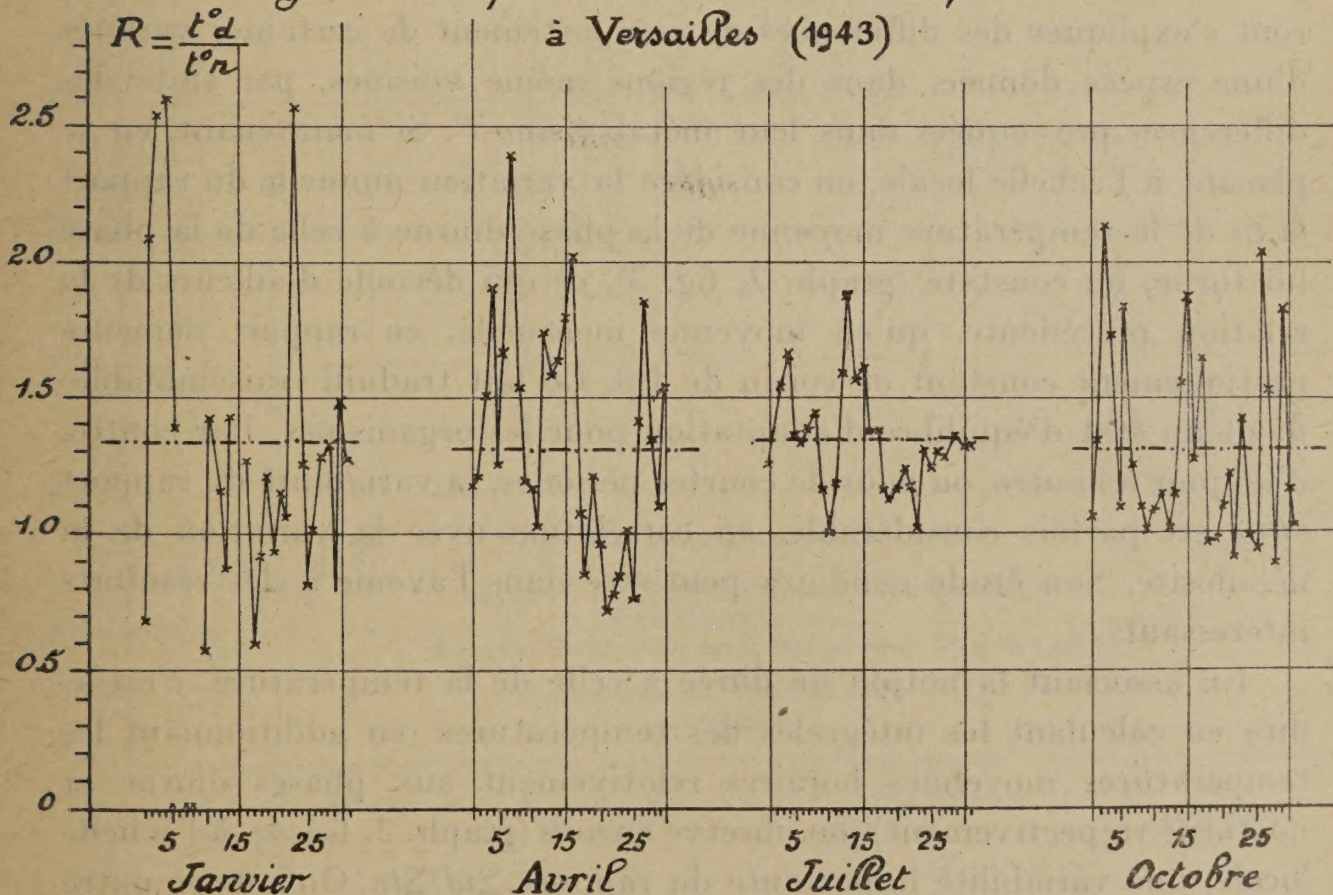
rement notamment, auxquels sont liés intimement les phénomènes transpiratoires. Nous reviendrons brièvement sur cette question dans la seconde partie de notre exposé.

fig 3

① Variation comparée de la température moyenne de la phase diurne et de la phase nocturne (moy. mensuelles)



② Variation annuelle du rapport $\frac{t_m^{\circ} \text{ diurne}}{t_m^{\circ} \text{ nocturne}}$ de la température moyenne de la phase diurne à celle de la phase nocturne à Versailles (1943)



La notion de rythme journalier. — En fait, l'unité de temps élémentaire à considérer en bioclimatologie paraît être le nyctémère, c'est-

à-dire la période de vingt-quatre heures comprenant un jour et une nuit consécutifs. Elle correspond au premier rythme élémentaire auquel sont adaptés les organismes, les récentes acquisitions sur le photopériodisme le soulignent. Déjà certains observatoires publient régulièrement un dépouillement horaire de la température; quelques-uns mêmes le complètent en indiquant séparément les températures moyennes des phases diurne et nocturne. Sans doute est-il curieux de constater (graph. 1, fig. 3) qu'en considérant, en moyenne mensuelle, la variation de la température moyenne de la phase diurne td par rapport à celle de la phase nocturne tn , la relation linéaire obtenue (en réalité, il s'agit d'ellipses dont un des axes est très court), semble approximativement la même pour des stations aussi différentes que Versailles, Moscou ou Helwan, près du Caire.

Si l'on considère cependant deux stations, l'une en régime continental, caractérisé par une grande amplitude de l'oscillation journalière de la température, l'autre en régime maritime, où l'amplitude maximum-minimum est relativement faible, il est évident, en ce qui concerne le développement d'une plante par exemple, que, pour une même température moyenne journalière, la phase diurne d'activité photosynthétique s'accomplira à des températures en moyenne plus élevées dans la première station que dans la seconde. Ce sera l'inverse pour la phase nocturne de migrations et d'accumulation. Ainsi pourront s'expliquer des différences de comportement de certaines variétés d'une espèce donnée, dans des régions même voisines, par suite des différences provoquées dans leur métabolisme ⁽¹⁾. Si maintenant, en se plaçant à l'échelle locale, on considère la variation annuelle du rapport td/tn de la température moyenne de la phase diurne à celle de la phase nocturne, on constate (graph. 2, fig. 3), ce qui découle d'ailleurs de la relation précédente, qu'en moyenne mensuelle, ce rapport demeure pratiquement constant et voisin de 1,3. Ce fait traduit vraisemblablement un état d'équilibre d'adaptation pour les organismes. Par contre, d'un jour à l'autre, ou pour de courtes périodes, la variabilité du rapport td/tn est parfois considérable, en corrélation avec la variation de la nébulosité. Son étude conduira peut-être dans l'avenir à des résultats intéressants.

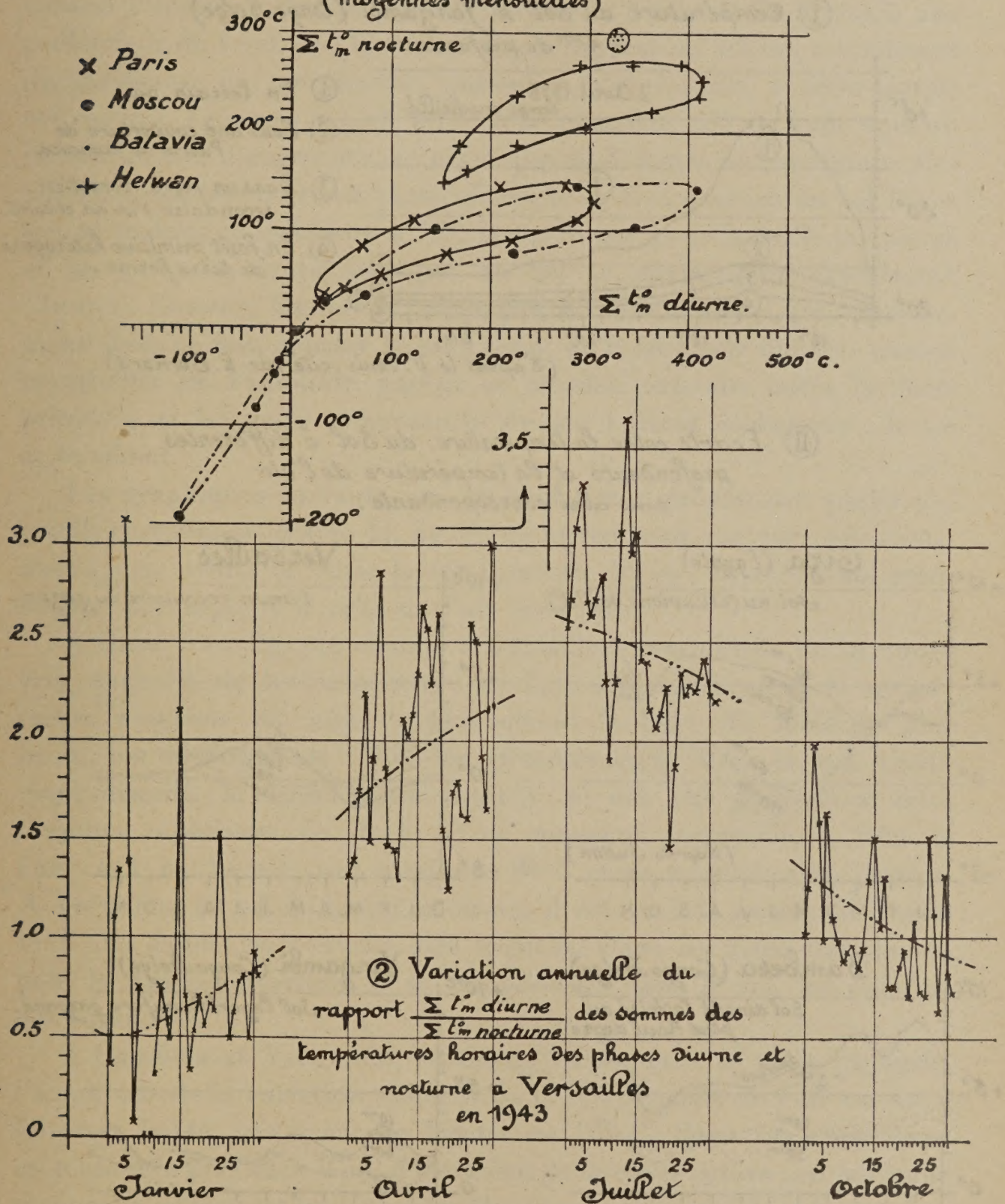
En associant la notion de durée à celle de la température, c'est-à-dire en calculant les intégrales des températures (en additionnant les températures moyennes horaires relativement aux phases diurne et nocturne respectivement), on observe encore (graph. 2, fig. 4), à l'échelle locale, une variabilité importante du rapport $\Sigma td/\Sigma tn$. On note en outre

(1) Cf. *La Loi des amplitudes* de BROCKMANN-JEROSCH, citée par P. CURÉ. Voir Index bibliographique (11).

une fluctuation régulière au cours de l'année, parallèle à celle subie par la durée du jour. A l'échelle géographique (graph. 1, fig. 4), l'étude

① Sommes des températures moyennes horaires de la phase diurne et de la phase nocturne, comparées.
(moyennes mensuelles)

fig 4



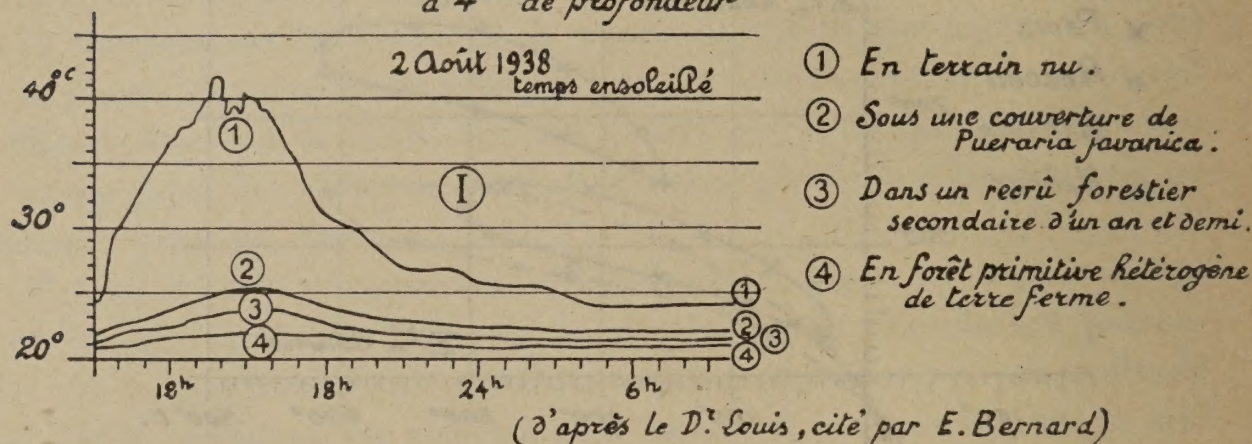
des diagrammes (Σt_d , Σt_n) permet cette fois de différencier les régimes thermiques de régions différentes.

La température du sol. — Jusqu'à présent, on n'a envisagé que la

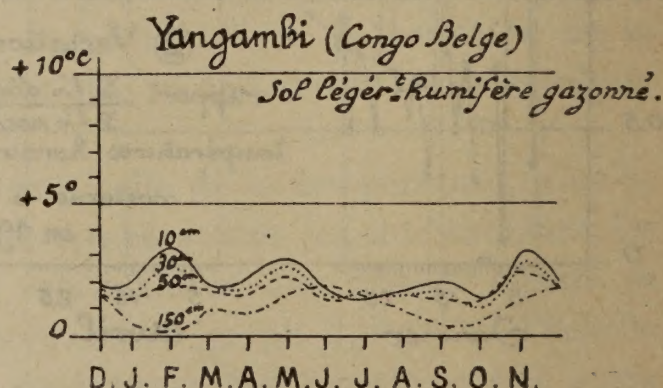
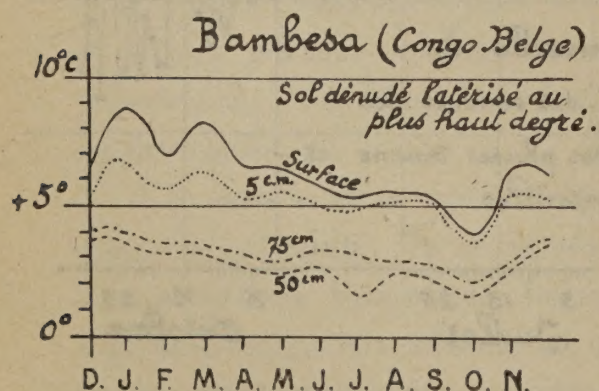
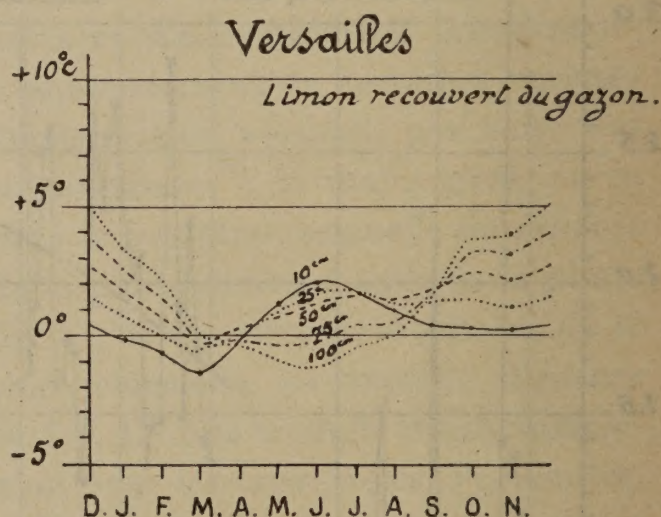
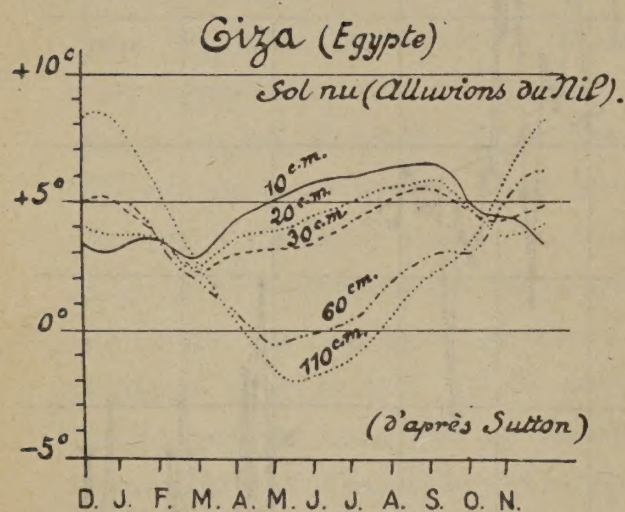
température de l'air, donnée classique de référence, à laquelle on doit toujours avoir recours dans la définition du climat local. A. DEMOLON,

fig. 5

① Température du Sol à Yangambi (Congo Belge)
à 4^{cm} de profondeur



② Ecart entre la température du Sol à différentes profondeurs et la température de l'air sous abri correspondante.



notamment, a cependant insisté avec raison sur la nécessité de développer les recherches sur le climat du sol et en particulier d'étudier

régulièrement les profils thermiques des différents types de sol dont les profils pédologiques auront été soigneusement précisés.

Sans parler ici des travaux de SCAETTA qui a été un pionnier en la matière, on peut extraire du mémoire de E. BERNARD déjà cité, les observations faites à Yangambi (Congo belge) par le Dr LOUIS. On voit (graph. 1, fig. 5, courbe 2) que la simple couverture due à une plante comme *Pueraria javanica* suffit à abaisser la température du sol, à une profondeur de 4 cm. de plus de 15° C par rapport au sol nu, au moment du maximum de température journalier. Par rapport à cette simple couverture, l'énorme massif protecteur constitué par la forêt équatoriale primitive n'augmente cet écart que de 3 degrés au maximum. Ces observations montrent en particulier que la température du sol forestier se maintient inférieure à 25°, température pour laquelle les pertes et les gains en azote humique du sol se compensent exactement (JENNY, CORBET, BEÏNAERT, cités par E. BERNARD). C'est certainement dans ce fait, conclut E. BERNARD, qu'il faut voir une des raisons essentielles de l'équilibre parfait et durable existant entre la forêt primitive et les deux composantes de son habitat écologique : le sol et le climat.

Les graphiques suivants, qui ne sont pas à proprement parler des profils thermiques (graph. II, fig. 5), montrent pour quelques sols caractéristiques, comment varie la température du sol, en moyennes mensuelles, par rapport à celle de l'air sous abri.

A GIZA ⁽¹⁾ en Égypte comme à Versailles, l'amplitude de la variation annuelle de la température de l'air (différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid), est de l'ordre de 15° C. On constate qu'à GIZA, en sol d'alluvions dénudé, la température jusqu'à 30 cm. de profondeur reste toujours supérieure de 3° à 6° en moyenne mensuelle, à celle de l'air; à 1 m. l'écart peut atteindre 8° C entre novembre et janvier. A Versailles, en sol de limon recouvert il est vrai de gazon, les écarts sont plus faibles et peuvent être négatifs. Dans les deux stations, on note la double inversion de la température dans le sol, au moment des équinoxes.

A Bambesa et Yangambi, au Congo belge, dans la zone tropicale, l'amplitude de la variation annuelle de la température de l'air est cette fois très faible, seulement de l'ordre de 1°5 C. Dans ces conditions, on n'observe plus dans le sol d'inversion de la température : en moyenne mensuelle, celle-ci est toujours plus élevée en surface que dans les couches plus profondes.

(1) Cf. SUTTON (L.-J.). Voir Index bibliographique (44).

2. LES PRÉCIPITATIONS, L'HUMIDITÉ ET L'ÉVAPORATION.

Les précipitations. — Les précipitations représentent le deuxième élément météorologique pour lequel on dispose des séries d'observations les plus nombreuses. Ici, on a affaire à un phénomène discontinu et la manière dont se répartissent les pluies a souvent plus d'importance que les quantités d'eau recueillies en elles-mêmes. On peut se demander, dès l'abord, ce que représente la notion de moyenne. Sur les courbes de densité de fréquence des pluies de la figure 6, dues à A. VERNET, les « classes » portées en abscisses ne correspondent pas aux hauteurs d'eau elles-mêmes, mais aux rapports de ces valeurs à la moyenne (normale) de la série utilisée (quatre-vingt-dix années). En ordonnées est porté le nombre de fois, exprimé en pour cent, où chaque rapport a été observé.

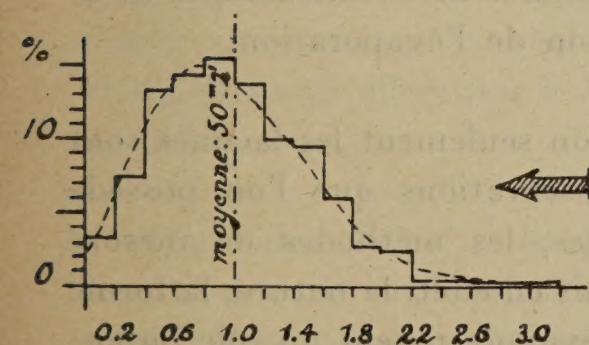
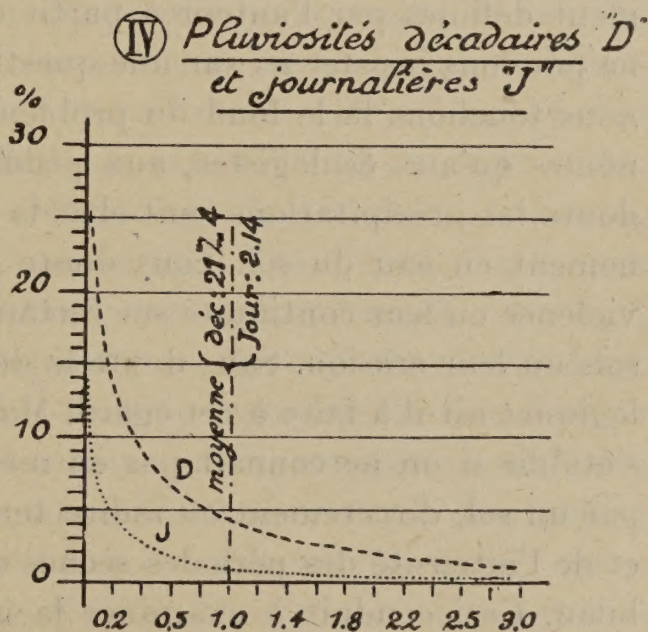
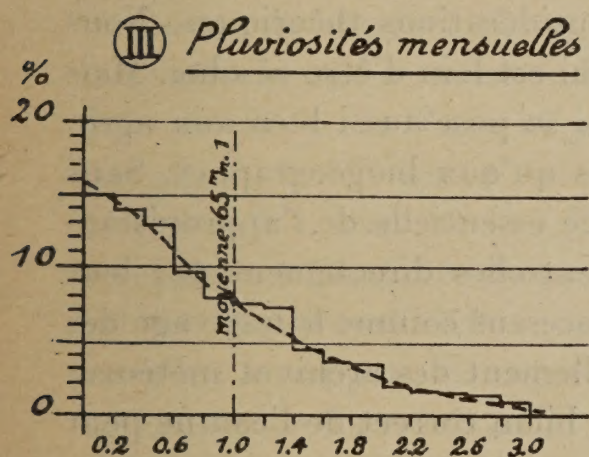
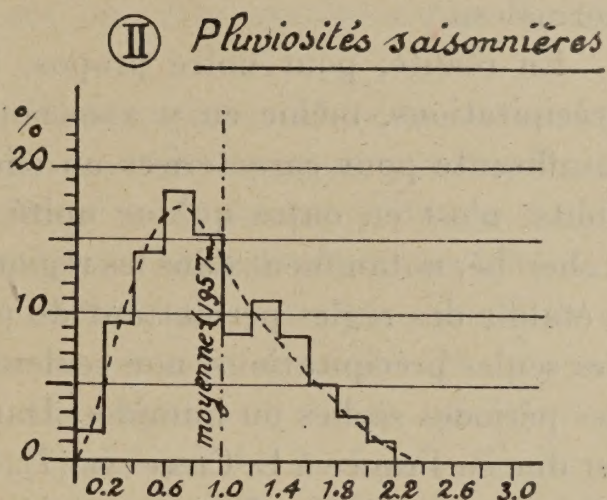
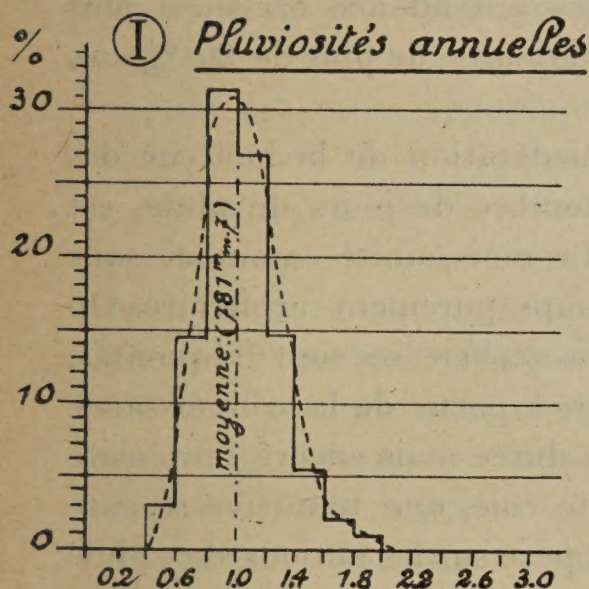
Pour la pluviosité annuelle (graph. 1, fig. 6), la courbe de fréquence présente un maximum bien accusé; la valeur la plus probable se confond sensiblement avec la moyenne. Pour les pluviosités saisonnières (graph. 2) l'accord entre la valeur moyenne et la valeur la plus probable est déjà moins bon, la variabilité est cependant relativement faible : plus de la moitié des rapports des pluviosités à leurs moyennes respectives, restent compris entre 0,4 et 1,2. Par contre (graph. 3), la courbe de densité de fréquence mensuelle, tracée à partir de tous les mois de l'année pris globalement, souligne que la moyenne, établie pourtant sur une série de près d'un siècle, ne peut être considérée, même approximativement, comme la valeur la plus probable. Un examen plus détaillé, non figuré ici, portant sur chaque mois pris individuellement, met en évidence un maximum peu accusé et toujours très éloigné de la moyenne, pour les mois de printemps et d'automne, correspondant aux maximums de pluviosité de ces deux saisons. Pour tous les autres mois, la probabilité varie en sens inverse des hauteurs de pluie. Pour les mois d'été considérés seuls, la courbe de densité de fréquence prend alors l'allure d'une hyperbole équilatère. Ce dernier type de courbe est celui observé normalement (graph. 4), en considérant des périodes plus courtes que le mois, la décade ou même le jour. Dans ce cas, la moyenne arithmétique qui conduit à la notion de normale, n'a plus aucune signification.

Les courbes précédentes se rapportent au Languedoc méditerranéen. Ailleurs, les résultats pourront être différents. Ainsi, à Paris, d'après L. BESSON (4), la courbe de densité de fréquence mensuelle (graph. 5, fig. 6) passe par un maximum nettement accusé, correspondant aux huit dixièmes de la normale, c'est-à-dire de la moyenne arithmétique de l'ensemble des observations. Un dépouillement comme celui effectué par A. VERNET suppose que l'on a à sa disposition de longues séries d'observations. De telles séries existent et le dépouillement précé-

dent montre la voie dans laquelle on peut et doit s'engager. Il montre aussi, et c'est un fait important, le degré de signification à attacher à

fig. 6

*Courbes de densité de fréquence
de la pluviosité à Montpellier*
(d'après A. Vernet)



la notion de moyenne, au moins dans certaines régions. A cet égard, comme l'a rappelé L. CHAPTAL (6), la considération des médianes⁽¹⁾

(1) Valeur telle que toutes les valeurs observées au cours de la période étudiée et l'ensemble des années considérées lui soient, en nombre égal, inférieures ou supérieures.

au lieu des moyennes présente souvent des avantages en permettant une meilleure interprétation des résultats statistiques. Quand le régime pluviométrique d'une région est suffisamment régulier, à Paris, par exemple, la médiane mensuelle diffère en général assez peu de la normale (2 à 10 %) et le total des médianes mensuelles coïncide sensiblement avec la normale annuelle. Dans le midi de la France au contraire, par suite notamment des pluies à tendance orageuse plus fréquentes, les médianes sont souvent inférieures de plus de 30 % aux normales.

En réalité, pour notre propos, la considération de la hauteur des précipitations, même en y associant le nombre de jours de pluie, est insuffisante pour caractériser un climat. Le mois, unité commode sans doute, n'est en outre qu'une unité de temps purement arbitraire. On a cherché, notamment dans les régions où les sécheresses sont fréquentes, à établir des règles permettant de préciser, à partir de la connaissance des seules précipitations, non seulement la durée mais encore l'intensité des périodes sèches ou humides. Dans cette voie, une tentative récente est due en France à L. CHAPTAL (7). Elle repose sur les notions de « pluie efficace » et « d'effet humectant des précipitations », notions précédemment définies par l'auteur à partir de considérations théoriques. Nous ne pouvons insister ici sur une question qui est loin d'être résolue. Mais nous touchons là le fond du problème qui se pose aussi bien aux agronomes qu'aux écologistes, aux pédologues qu'aux biogéographes. Sans doute les précipitations sont-elles la source essentielle de l'approvisionnement en eau du sol. Sans doute agissent-elles directement par leur violence ou leur continuité sur certains processus comme le lessivage des sols ou leur érosion. Sans doute le dépouillement des archives météorologiques est-il à faire à cet égard. Mais un bilan correct de l'eau ne peut s'établir si on ne connaît pas en même temps les pertes en eau subies par un sol, directement ou indirectement. La détermination de la durée et de l'intensité des périodes sèches ou humides doit tenir compte de ce bilan. Ceci conduit à examiner la question de l'évaporation.

L'évaporation. — Dans ce domaine, non seulement les lacunes sont nombreuses, mais encore les séries d'observations que l'on possède sont difficilement comparables entre elles, les méthodes de mesure n'étant pas standardisées. Comme on le sait en effet, la nature, la forme et aussi les dimensions de la surface qui évapore jouent un rôle important dans les mesures. Suivant le type d'instrument, à surface évaporante artificielle (évaporomètre de Livingston ou évaporomètre de Piche) ou à surface évaporante d'eau libre (bassin d'évaporation ou évaporomètre de Wild), les indications recueillies, dans des conditions de milieu identiques, peuvent être très différentes. Des mesures faites

en Égypte ⁽¹⁾ tendent pourtant à montrer qu'en moyenne l'évaporomètre de Piche évapore 1,4 fois plus que celui de Wild, les deux appareils étant placés côte à côte, sous abri standard. De même, par comparaison avec l'évaporation d'une surface d'eau libre (bassin évaporant de 2 mètres carrés), les coefficients de réduction à appliquer aux indications des deux instruments précédents, bien qu'approximatifs, ont été trouvés respectivement égaux à 0,5 et 0,7. En attendant une standardisation indispensable des appareils de mesure, des comparaisons de cet ordre, poursuivies d'une manière systématique, faciliteraient l'étude de l'évaporation.

On admet généralement que les évaporomètres donnent une mesure du « pouvoir évaporant de l'air ». On peut se demander, surtout si les appareils sont placés sous abri, comme c'est le cas pour l'évaporomètre de Piche, dans quelle limite de telles déterminations effectuées à l'échelle purement météorologique peuvent nous éclairer sur les variations de certains phénomènes comme les pertes en eau d'un sol. Nous avons personnellement tenté d'apporter une réponse à cette question en recherchant expérimentalement une relation de la forme $E_p/E_s = f(H)$ donnant en fonction des variations de l'humidité du sol ⁽²⁾ H , la valeur du rapport $R = E_p/E_s$ du pouvoir évaporant de l'air E_p (mesuré à l'évaporomètre de Piche sous abri) aux pertes en eau du sol E_s . Sous le climat de Paris et pour le type de sol considéré, on constate (graph. I, fig. 7) qu'un sol très humide ($H \geq 27\%$ de terre sèche) évapore plus vite que le « Piche ». R est égal à 0,6, chiffre voisin de celui trouvé pour l'évaporation d'une surface d'eau libre. Dès que le sol est ressuyé en surface, ce qui correspond à une humidité de 25 % environ, le rapport R augmente rapidement. Conséquence de la dessiccation rapide du sol dans les couches les plus superficielles sous l'action du rayonnement solaire, les pertes en eau du sol, considéré dans toute son épaisseur, sont considérablement freinées. A. VERNET à Montpellier, sous un climat très différent, aboutit à des conclusions du même ordre. Citons encore, dans le même ordre d'idées, les expériences récentes de H.-L. PENMAN effectuées à Rothamsted sous les conditions contrôlées du laboratoire.

L'humidité du sol et les profils hydriques. — Comme nous l'avons montré ailleurs (19), la relation précédente permet de déterminer directement par le calcul, connaissant le pouvoir évaporant de l'air et les précipitations, la courbe de variation journalière de l'humidité d'un sol

(1) Cf. *Climatological normals for Egypt and the Sudan*, Cyprus and Palestine-Physical Department Ministry of Public Works, 1938, Le Caire.

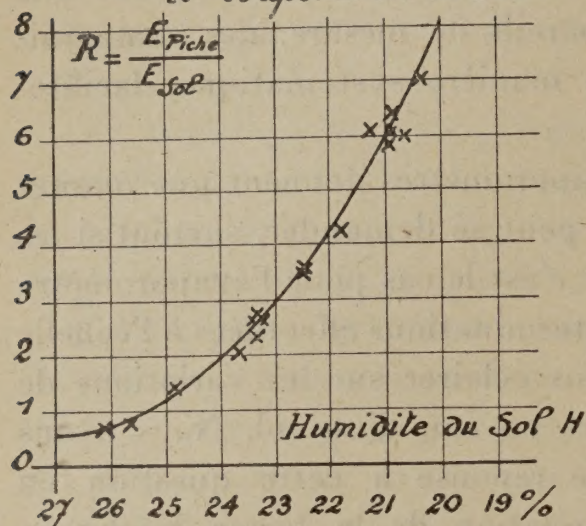
(2) Il s'agit ici de l'humidité moyenne du sol (sol de limon non cultivé) en pour cent du poids sec et relative à une couche de 45 centimètres d'épaisseur, à partir de la surface du sol.

en place, pour une période quelconque de l'année. Elle permet aussi de montrer par exemple que, sous le climat de Paris (graph. 2, fig. 7),

-L'Eau et le Sol- (Versailles).

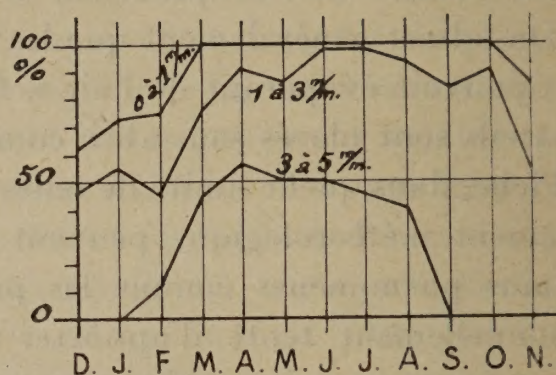
fig 7

① Pouvoir évaporant de l'air. (E_{Piche}) et évaporation du Sol.



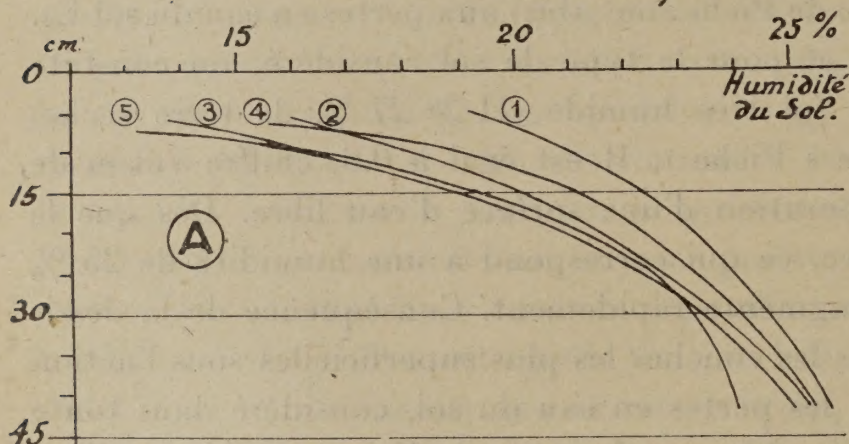
(Terre de limon.)

② Pluies journalières perdues pour le sol (Suivant la saison en % du nombre total des pluies)



③ Profils hydriques

Terre de limon - humidité % terre sèche.



④ Sol nu

dates des prélèvements

①	15 Mars	1938
②	13 Avril	—
③	13 Mai	—
④	11 Juin	—
⑤	25 Juin	—

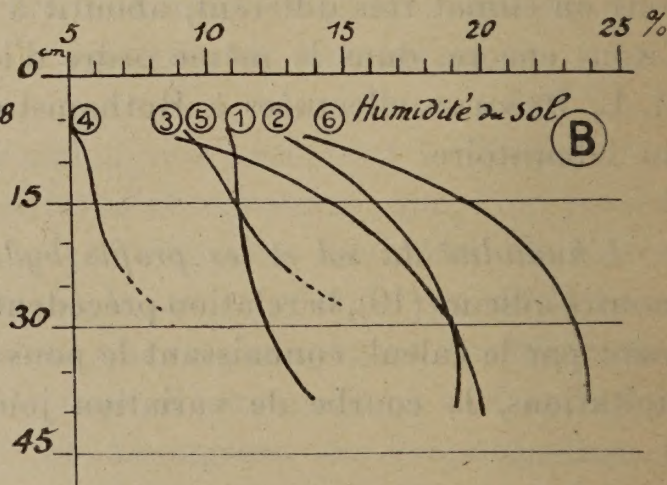
⑤ Sol cultivé.

Culture: date semis État développ. date prélèv.:

①	Blé	19 octobre	Épiaison	11 Juin 1938
②	Bellevue	4 mai	démariage	22 —
③	Pommes æt.	26 avril	floraison	23 —
④	Luzerne	} première année de coupe		25 —
⑤	Trèfle			25 —
⑥	Témoin Sol nu			25 —

total des précipitations

période du	15 Mars	13 Avril :	8 mm
	13 Avril	13 Mai :	15,4
	13 Mai	11 Juin :	43,3
	11 Juin	25 Juin :	0,7



de mars à septembre, 50 % des pluies de 3 à 5 mm. sont évaporées en l'espace de vingt-quatre heures et ne représentent pas un gain pour le

sol. Pour cette même période, la majorité des pluies inférieures ou égales à 3 mm. sont perdues. Et nous ne parlons pas ici des précipitations qui peuvent être arrêtées directement par la végétation avant leur arrivée au sol. On voit ainsi combien l'interprétation à donner aux notions de hauteur des précipitations et de jour pluvieux demande à être précisée suivant la région ou la période de l'année considérée.

En fait, comme dans le cas de la température, l'étude des profils hydriques du sol doit compléter l'investigation climatologique portant sur une région déterminée. Les graphiques 3 de la figure 7 en donnent quelques exemples pour la région parisienne. En sol nu, au cours de la période de sécheresse qui a duré du mois de mars 1938 à la fin juin, l'humidité du sol ⁽¹⁾ s'est abaissée progressivement, dans la couche des 15 premiers centimètres superficiels, de 20 à 13 % (pour cent de terre sèche); dans la couche 30-45 cm., elle s'est maintenue au contraire au voisinage de 24 à 25 %. Ainsi est soulignée la résistance offerte par le sol à la dessiccation. En sol cultivé, on constate par contre l'action desséchante des cultures. Dans une luzernière d'un an par exemple, l'humidité est descendue à moins de 7 % dans les 30 premiers centimètres, c'est-à-dire nettement au-dessous du point de flétrissement.

En résumé, il est nécessaire, comme l'a souligné A. DEMOLON ⁽²⁾ de développer les méthodes d'observations directes qui, pour chaque type de sol, conduiront à une expression dans le temps de son état d'humidité, en fonction des gains et des pertes d'eau qu'il subit, compte tenu de la couverture végétale. On pourra ainsi apprécier la résistance des sols à la dessiccation, la distribution de l'humidité dans les divers horizons pédologiques suivant les saisons, enfin les périodes au cours desquelles la circulation s'effectue *per ascensum* ou *per descensum*. On devra en outre s'attacher à relier l'ensemble de ces phénomènes aux variations mêmes des éléments climatologiques. Les essais rapportés ci-dessus constituent une tentative dans ce domaine. Ceux de H.-C. TRUMBLE, en Australie, répondent au même but. Cet auteur a comparé aux données fournies par l'évaporation d'une surface d'eau libre (bassin évaporant standard de 90 cm. de diamètre), les pertes en eau subies par un sol ayant reçu au préalable des quantités d'eau variables, correspondant respectivement à 5, 10 et 15 mm. de pluie. Il a déterminé, dans chaque cas, la quantité d'eau perdue par l'évaporomètre standard, jusqu'au moment où, dans chaque cas, l'humidité du sol s'est abaissée au point de flétrissement (*wilting point*). Il constate que le rapport des quantités d'eau ajoutées initialement au sol à celles perdues par l'évaporomètre standard, dans chaque cas, est sensiblement constant.

(1) Cf. A. DEMOLON et H. GESLIN, Index bibliographique (15).

(2) Cf. A. DEMOLON, *Le Climat du sol*, déjà cité (14).

H.-C. TRUMBLE utilisera ce résultat expérimental pour définir les zones bioclimatiques de l'Australie.

L'humidité de l'air, le déficit de saturation et les condensations. — Pour terminer cet exposé rapide des différents éléments climatiques se rapportant au facteur eau, il convient de dire encore quelques mots de l'humidité de l'air proprement dite et des condensations telles que la rosée. En ce qui concerne le premier point, on définit en météorologie d'une part, le degré hygrométrique de l'air ou humidité relative, d'autre part la tension de vapeur ou humidité absolue. De ces deux quantités on peut déduire la valeur du déficit de saturation. On connaît l'importance de l'humidité de l'air; son étude en climatologie ne saurait être négligée et il faut souhaiter qu'un dépouillement systématique des séries d'observations soit entrepris ou poursuivi. On sait de même que le déficit de saturation a été fréquemment utilisé en pédologie et en biogéographie comme mesure du pouvoir évaporant ou desséchant de l'air. Sa détermination demeure cependant délicate et nécessite des calculs qui ne peuvent porter le plus souvent que sur des moyennes. Divers auteurs (H.-C. TRUMBLE et J. DAVIDSON, notamment) ont montré qu'en première approximation il existait une relation linéaire entre les variations du déficit de saturation et les mesures directes d'évaporation. Le jour où ces dernières auront été standardisées, aussi bien en ce qui concerne les méthodes de mesure que les dispositifs instrumentaux eux-mêmes, on disposera d'éléments sérieux de référence. Quant aux phénomènes de condensation tels que la rosée, si météorologistes et bioclimatologistes se préoccupent depuis longtemps de leur étude, on doit avouer que, du point de vue instrumental, la question n'est pas résolue, malgré les diverses tentatives faites à cet égard, à l'étranger notamment.

3. LE RAYONNEMENT SOLAIRE ET LE FACTEUR LUMIÈRE.

Malgré son intérêt, le rayonnement solaire est un des éléments du climat local dont l'étude est encore peu poussée d'une manière systématique. La raison en est que nous ne possédons pas, à l'heure actuelle, d'instruments suffisamment simples et robustes se prêtant à une « exploitation » normale dans un réseau général d'observations. On a préconisé et recommandé parfois l'emploi d'appareils tels que les actinomètres à distillation ⁽¹⁾, dans lesquels un liquide volatil contenu dans un réservoir en verre s'évapore sous l'action du rayonnement et vient se condenser dans un tube gradué. Ce sont des appareils dits « totalisa-

(1) Cf. Ch. MAURAIN. Voir Index bibliographique (30).

teurs ». Chaque jour, en notant le nombre de centimètres cubes de liquide distillé, on obtiendrait ainsi une mesure relative du rayonnement global reçu au cours de la journée, ou mieux de l'éclairement global, d'où le nom de lucimètres donné fréquemment à ces appareils. En fait, on ne sait pas très bien ce que l'on mesure. Ces instruments présentent par ailleurs de nombreux défauts, notamment une perte de sensibilité plus ou moins rapide; seule une vérification d'étalonnage permet de la révéler, le plus souvent trop tard. Signalons à cet égard que le Service de la Météorologie nationale (Établissement central de la Météorologie) poursuit actuellement en France la mise au point d'un nouvel appareil de ce type. Signalons de même qu'à l'étranger existe un type d'actinomètre bimétallique (actinomètre de Robitsch) offrant les mêmes facilités d'emploi qu'un thermomètre enregistreur de type courant; son emploi cependant ne semble pas s'être généralisé.

La radiation globale. — D'une manière générale, pour la caractérisation des climats locaux, la donnée la plus importante à connaître est la radiation globale. On entend par ce terme l'ensemble de la radiation d'origine solaire qui parvient au sol sur une surface horizontale. Elle comprend la radiation solaire directe, quand celle-ci existe, et la radiation d'origine solaire diffusée par l'atmosphère, c'est-à-dire provenant du ciel bleu et des nuages ⁽¹⁾. Elle est représentée journallement par le nombre de calories-grammes reçues par centimètre carré. Dans la plupart des appareils servant à sa mesure, appareils relativement coûteux et délicats, dont ne sont dotés qu'un petit nombre d'observatoires, l'intensité de la radiation globale est déduite d'une différence de température. C'est le cas notamment du solarigraphe de Gorczynski, utilisé en France, dont l'organe sensible est constitué par une pile thermo-électrique de Moll.

Bien entendu, ce n'est pas toute la radiation globale ainsi mesurée qui joue un rôle actif dans les phénomènes qu'on étudie. Une partie seulement de l'énergie incidente est absorbée par le sol ou les plantes, l'autre est renvoyée directement vers l'espace par réflexion diffuse ⁽²⁾. De même une partie de l'énergie absorbée est perdue par rayonnement, son importance variant avec l'état général de l'atmosphère. Dans les conditions naturelles, cette discrimination entre les gains et les pertes d'énergie subis par le sol ou les plantes, dont les variations de la tem-

(1) Du point de vue physique, les expressions rayonnement solaire, rayonnement global seraient plus exactes que celles de radiation solaire, radiation globale, etc... Nous conserverons cependant ces dernières, consacrées actuellement par l'usage.

(2) C'est à cette fraction du rayonnement renvoyé vers l'atmosphère qu'on donne le nom d'albedo, bien que ce terme convienne plus particulièrement à l'intensité lumineuse. Ainsi l'albedo de la neige fraîchement tombée est de 70 à 80 %, celui de la terre végétale de 9 à 14 %, celui d'une prairie de 18 à 36 %.

I Fréquences de la Radiation globale à Versailles (période 1941-1945)

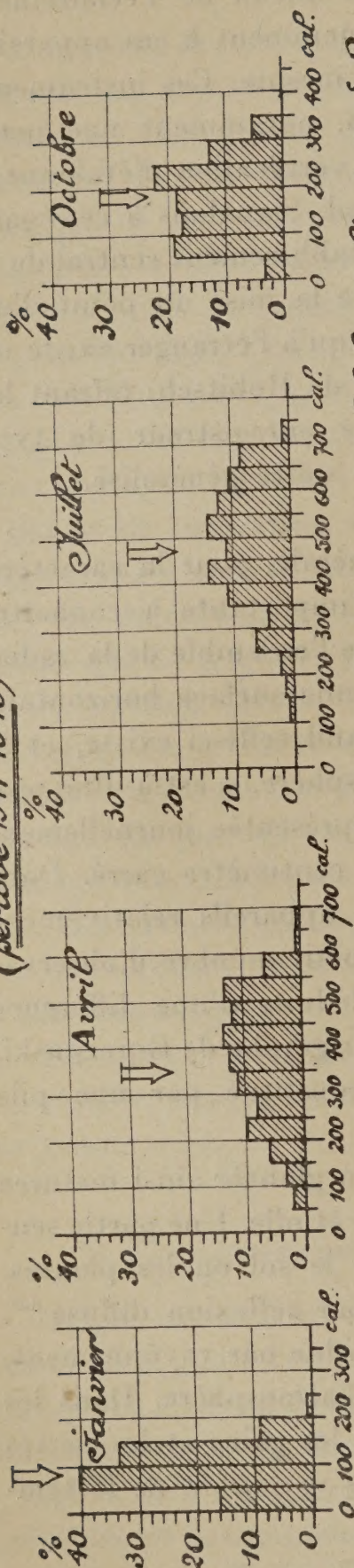
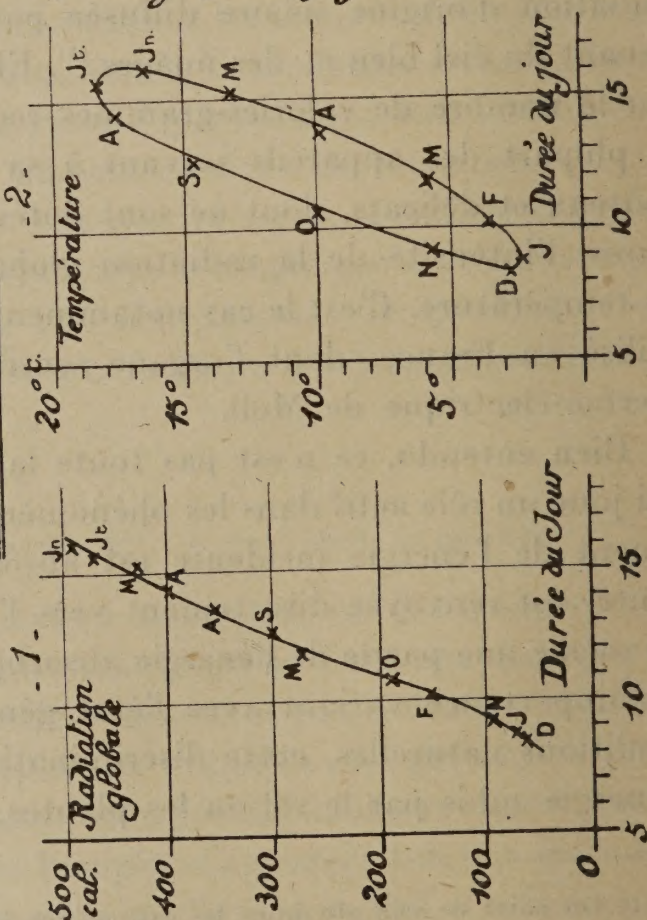
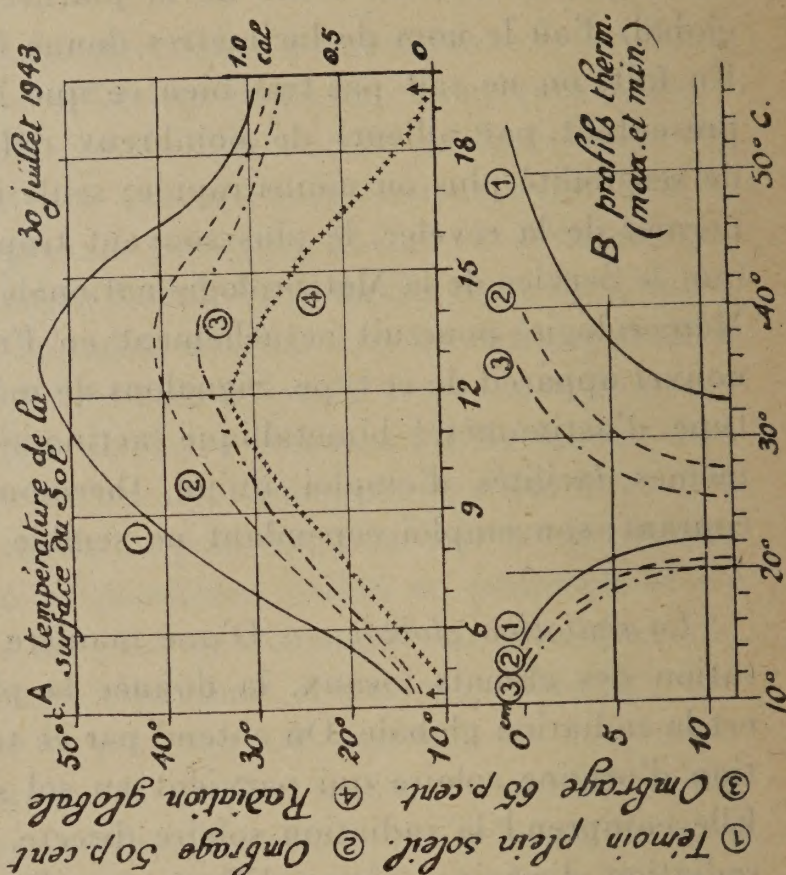


fig 8

II Radiation globale, Température et durée du jour



III Radiation globale et climat du Sol



pérature rendent compte dans une certaine mesure, est pratiquement impossible. On ne peut envisager les phénomènes, au moins à l'échelle du climat local, que dans leur ensemble. Aussi devons-nous faire appel à des données ayant un sens défini et qu'on peut obtenir avec une assez bonne précision. C'est le cas de la radiation globale.

A propos de la radiation globale, on pourrait répéter ce que nous avons dit précédemment. Ici encore, les notions de variabilité et de fréquence doivent permettre de préciser, en un lieu donné, l'ampleur des fluctuations qui s'observent autour des schémas représentés par les moyennes. Malheureusement, les séries d'observations régulières de la radiation globale sont, à l'heure actuelle, fort peu nombreuses, rarement publiées et portent sur un trop petit nombre d'années pour que les résultats obtenus soient pleinement satisfaisants. A titre indicatif, nous donnons (graph. 1, fig. 8) les courbes de fréquence de la radiation globale à Versailles. Les « classes » portées en abscisses sont égales à 50 calories-grammes. Au printemps et en été, la dispersion de la radiation est particulièrement accusée. Sans doute le maximum des polygones de fréquence coïncide-t-il sensiblement avec la moyenne (indiquée par les flèches), mais il correspond à peine à 10-12 % de l'ensemble des observations. En hiver, par contre, la dispersion est plus faible, le maximum atteint 40 % du total des observations. L'instabilité des types de temps en avril, la persistance d'une tendance plus ou moins orageuse en juillet, expliquent les résultats observés.

Radiation globale et température de l'air. — Comme on le voit sur les courbes précédentes, la radiation globale descend parfois en été à des valeurs très basses, correspondant à la quantité d'énergie susceptible d'être reçue au cœur de l'hiver, par très beau temps, en général par temps froid. Ce résultat montre déjà que si, en gros, la température de l'air varie dans le même sens que la radiation globale elle-même, à condition de considérer des périodes suffisamment longues, en fait, il ne peut y avoir de parallélisme étroit entre les variations de ces deux éléments. Les graphiques suivants (fig. 8, graph. 2, courbes 1 et 2) en sont une nouvelle illustration; ils donnent la variation de la radiation globale et de la température au cours de l'année; en abscisses on a porté, non pas les mois eux-mêmes, mais la durée moyenne du jour ⁽¹⁾, correspondant à chaque mois. Comme on pouvait s'y attendre (courbe 1), les quantités de calories reçues au cours d'une journée, pour une même durée du jour, sont en moyenne sensiblement identiques. Il y a une correspondance très satisfaisante entre les différents mois homologues (mars-septembre, août-avril), compte tenu de la différence dans la durée

(1) Comptée comme l'intervalle de temps séparant les heures du lever et du coucher du soleil.

du jour. La courbe 2 par contre est toute différente : à l'automne, pour des durées du jour équivalentes, la température est en moyenne toujours plus élevée qu'au printemps. L'explication est simple. Au printemps, l'intensité du rayonnement solaire augmente en même temps que les jours s'allongent et que les nuits se raccourcissent. La phase d'échauffement diurne l'emporte nettement sur la phase nocturne de refroidissement. La chaleur s'emmagasiné dans le sol dont le « potentiel thermique » augmente ⁽¹⁾. A l'automne, la quantité de chaleur ainsi accumulée est restituée progressivement à l'atmosphère et contribue à maintenir à un niveau plus élevé la température de l'air.

Radiation globale et température du sol. — Les essais effectués à Versailles par M. GODARD (21) montrent de même qu'il n'y a pas de relation simple, en particulier de relation linéaire, entre la radiation globale et l'échauffement d'un sol. En fait, si un sol tend à s'échauffer d'autant plus énergiquement qu'il reçoit plus de calories, les pertes de chaleur qu'il subit, par conduction dans le sol, par convection et rayonnement vers l'atmosphère, tendent elles-mêmes à s'exagérer d'autant plus que la différence de température (gradient thermique) existant d'une part entre la surface du sol et l'atmosphère, d'autre part entre la surface et les couches plus profondes du sol, tend elle-même à prendre une plus grande valeur absolue. Cette exagération même des pertes quand l'intensité du rayonnement solaire augmente, s'oppose à un échauffement exagéré du sol lui-même et se traduit par un ralentissement, par un freinage d'autant plus énergique de l'échauffement que l'intensité de la radiation globale est elle-même plus élevée. On tend vers une limite.

Les diagrammes de la figure 8 (graph. III A et B) viennent à l'appui de ces conclusions. Les courbes 1, 2, 3 représentent la variation horaire de la température à la surface du sol par très beau temps, d'une part en plein soleil, d'autre part sous des écrans réduisant l'intensité du rayonnement solaire de 50 et 65 % respectivement. La courbe 4 est relative à la variation horaire de l'intensité de la radiation globale. Si l'on considère dans chaque cas, l'amplitude de la variation de la température (différence maximum-minimum), on constate qu'une réduction de la radiation globale de 50 ou de 65 % n'entraîne, par rapport au témoin normalement insolé, qu'une réduction de l'amplitude thermique de 30 % dans le premier cas, de 40 % dans le second. Proportionnellement, le sol le plus fortement ombragé s'est donc plus échauffé que le sol normalement insolé. En considérant non plus l'amplitude thermique, mais le taux d'échauffement de la surface du sol, défini

(1) Cf. H. GESLIN, *La Température du sol*. Assoc. Intern. Science du sol, 1^{er} Comm. Versailles 1934, et la *Météorologie*, 1935, p. 5-26.

par l'élévation de température correspondant à un apport d'une calorie-gramme par centimètre carré et par minute, les résultats sont dans le même sens. Dans toutes les parcelles, témoins ou ombragées, le taux d'échauffement de la surface du sol est plus élevé entre le lever du soleil et 9 heures du matin qu'entre 9 heures et 13 heures, bien qu'au cours de cette seconde période, l'intensité de la radiation globale soit cependant plus élevée qu'au cours de la première. De même, sous les ombrages, les taux d'échauffement sont toujours plus élevés que dans le témoin normalement insolé, quel que soit le moment de la journée considéré. L'examen des profils thermiques dans le sol (graph. III, B) montre enfin que les variations provoquées par des intensités croissantes de la radiation globale, portent surtout sur la valeur des maxima de température atteints, aussi bien en surface qu'en profondeur. Un sol se refroidit d'autant plus qu'il s'est plus échauffé.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces différents points qui ont eu de nouveau pour but de montrer une des voies d'étude dans lesquelles il convient de s'engager à propos de chaque type de sol caractéristique (sol nu ou cultivé).

Radiation globale et facteur lumière. — Jusqu'à présent, on a surtout considéré le rayonnement solaire en tant que source d'énergie calorifique. Il serait important de mesurer directement l'éclairement par la lumière du jour. De nombreux types d'instruments, utilisant notamment les propriétés des cellules photo-électriques ou des cellules dites à « couche d'arrêt » ont été étudiés dans ce but. On connaît à cet égard les luxmètres d'un usage courant dans l'industrie. Cependant, en dehors de quelques instruments utilisés par les spécialistes de la radiation, l'usage de ces divers types d'appareils ne peut être recommandé sans réserve, au moins actuellement. A défaut de mesures directes, toujours souhaitables, il semble heureusement, comme l'a souligné Ch. MAURAIN ⁽¹⁾, qu'on puisse prendre la radiation globale elle-même pour évaluer numériquement l'éclairement par la lumière du jour. Certaines recherches récentes d'écologie expérimentale le confirment ⁽²⁾.

Quant à la composition de la lumière du jour, elle paraît en moyenne peu variable dans l'ensemble sauf au lever ou au coucher du soleil. Ses variations possibles au cours d'une même journée, ne sont pas telles pratiquement qu'elles puissent jouer un rôle essentiel vis-à-vis de celui résultant de l'intensité ou de la durée d'éclairement, sauf peut-être

(1) Il résulte en effet des travaux de nombreux auteurs, KIMBALL notamment, qu'il y a approximativement proportionnalité, dans les conditions ordinaires, entre la radiation globale et l'éclairement. L'équivalent d'une calorie-gramme par centimètre carré et par minute (radiation globale) est d'environ 72.000 lux. Cf. Ch. MAURAIN, déjà cité (30).

(2) Cf. H. GESLIN. Thèse, Paris, 1944. Voir Index bibliographique (18).

en montagne. Il s'agit bien entendu ici de la lumière en « atmosphère libre ». Il n'en serait évidemment pas de même dans un sous-bois par exemple, par suite de l'absorption sélective des radiations par le feuillage. Il y a là sans nul doute un groupe de recherches à développer dans le domaine de la microclimatologie.

Durée d'insolation. — En définitive, tant que nous ne disposerons pas d'appareils de mesure « d'usage courant » pour l'étude du rayonnement solaire, les seules déterminations que l'on puisse effectuer d'une manière régulière sont celles relatives à la durée d'insolation. On sait que, par ce terme, on entend le nombre d'heures pendant lequel, chaque jour, le soleil s'est montré. On distingue d'une part la durée d'insolation proprement dite, d'autre part la fraction d'insolation, rapport de la durée réelle à la durée possible d'insolation ⁽¹⁾. Par bien des côtés, la durée d'insolation est une donnée intéressante à connaître. C'est une mesure complémentaire de la nébulosité, en fait beaucoup plus précise que cette dernière qui n'est déterminée qu'à l'estime. On connaît l'importance considérable du rayonnement solaire direct sur certains phénomènes comme la transpiration végétale. Enfin certaines formules ont été proposées permettant de calculer directement la radiation globale en fonction des durées d'insolation ⁽²⁾.

Les diagrammes de la figure 9 donnent les polygones de fréquence de la durée et de la fraction d'insolation, comparativement avec ceux de la radiation globale, à Versailles. Sur les diagrammes 1 et 7, on a reporté par ailleurs les fréquences de la durée d'insolation à Alger pour janvier et juillet ⁽³⁾ (trait discontinu). L'ensemble des courbes portent sur des séries d'années nettement trop courtes pour être pleinement significatives. Il s'en dégage cependant que la variabilité du phénomène est élevée, même à Alger, et que la notion de moyenne, ici encore, est toute relative. En janvier et octobre (graph. 2 et 11), le pourcentage des journées couvertes, ou très nuageuses est élevé; en juillet (graph. 8), les journées claires ou peu nuageuses atteignent à peine 22 %, etc...

Durée du jour. — En terminant cet exposé relatif au rayonnement solaire, nous rappellerons l'importance considérable qui s'attache à la

(1) La durée possible d'insolation en un lieu donné dépend évidemment de l'altitude de ce lieu. Des obstacles, les variations du relief en montagne et dans les vallées, de simples rideaux d'arbres, etc... peuvent réduire considérablement cette durée. Il peut être précieux de savoir dans quelle mesure. A cet égard, on doit signaler que R. PERS (35) a réalisé un appareil héliographique permettant cette détermination rapide, par une simple prise de vue photographique sur un canevas préparé à l'avance, donnant les trajectoires solaires et les heures du lieu considéré.

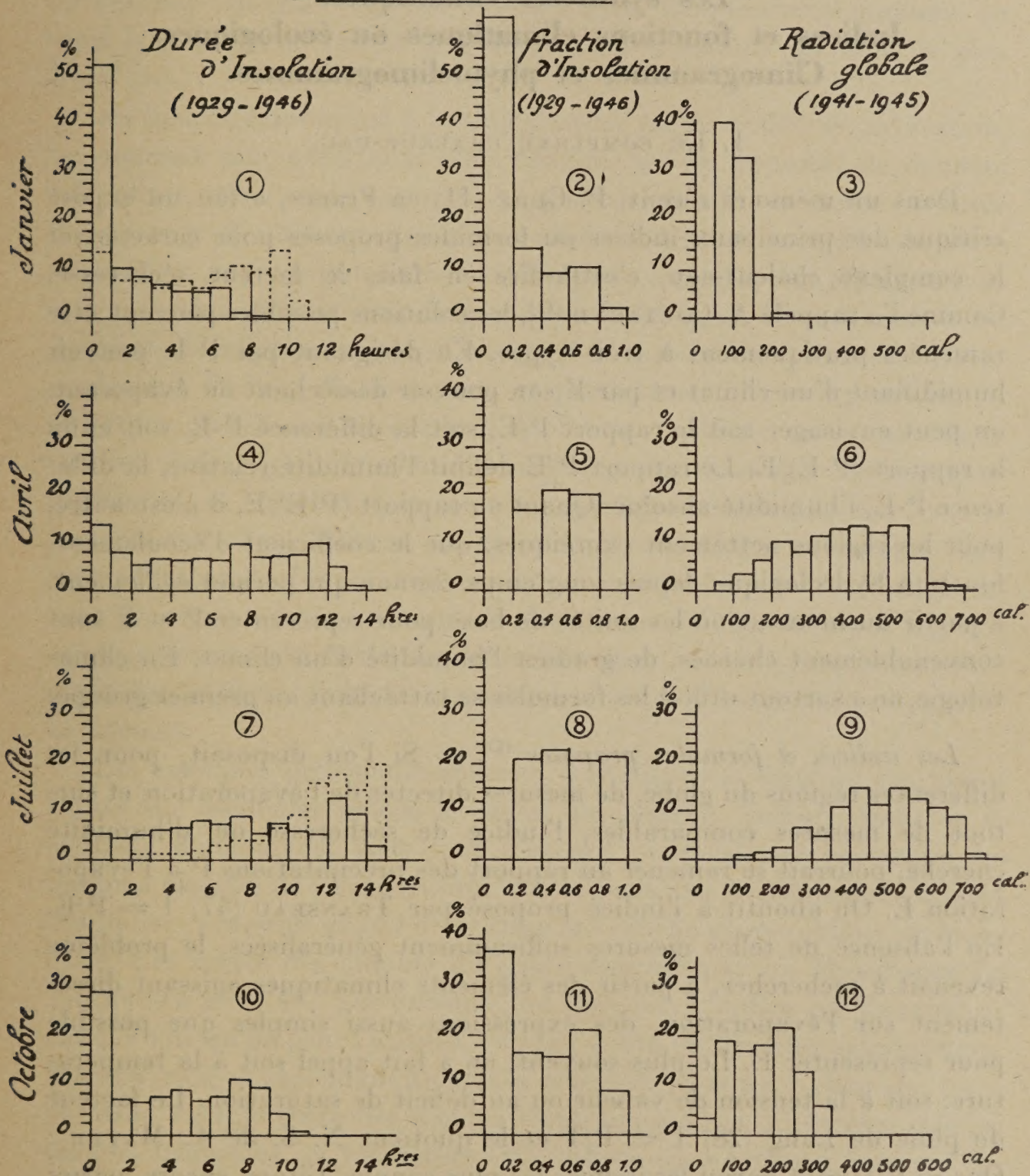
(2) Elles ne sont utilisables pratiquement que pour le calcul des « sommes » de la radiation globale, appliquées à des périodes suffisamment longues de l'ordre du mois. Cf. Ch. MAURAIN (30).

(3) Cf. P. SELTZER, *Le Climat de l'Algérie* (41).

notion de la durée du jour proprement dite, depuis les travaux fondamentaux de GARNER et ALLARD sur le photopériodisme. Cet élément du climat ne peut plus être négligé dans l'étude de toutes les questions

Fréquence de l'Insolation et de la Radiation globale à Versailles

fig 9



relatives à la recherche et à l'adaptation des biotypes au milieu ainsi que des problèmes en rapport avec l'acclimatement. Il faut souhaiter qu'à l'avenir, dans toutes les publications météorologiques, on puisse

trouver pour chaque station des indications concernant l'heure du lever ou du coucher du soleil, aux différentes époques de l'année ⁽¹⁾.

Nous abordons maintenant la seconde partie de cet exposé, relatif aux essais de représentation numérique ou graphique de l'action simultanée de plusieurs éléments climatiques considérés dans leurs interactions.

Les synthèses climatiques.

Indices et fonctions climatiques ou écologiques.

Climogrammes et phytoclimogrammes.

1. LE COMPLEXE CHALEUR-EAU.

Dans un mémoire récent, P. CURÉ (11) en France, a fait un exposé critique des principaux indices ou formules proposés pour caractériser le complexe chaleur-eau, c'est-à-dire en fait, le facteur sécheresse. Comme l'a rappelé A. COUTAGNE (9), les solutions possibles peuvent être ramenées pratiquement à trois types. En désignant par P le pouvoir humidifiant d'un climat et par E son pouvoir desséchant ou évaporant, on peut envisager soit le rapport P/E , soit la différence $P-E$, soit enfin le rapport $(P-E)/E$. Le rapport P/E définit l'humidité relative, la différence $P-E$, l'humidité absolue. Quant au rapport $(P-E)/E$, il n'est autre, pour les régions nettement exoréiques, que le coefficient d'écoulement, fonction hydrologique depuis longtemps connue qui permet également, à partir du moment où les unités de base pour représenter P et E sont convenablement choisies, de graduer l'humidité d'un climat. En climatologie, on a surtout utilisé les formules se rattachant au premier groupe.

Les indices et formules proposés ⁽²⁾. — Si l'on disposait, pour les différentes régions du globe, de mesures directes de l'évaporation et surtout de mesures comparables, l'indice de sécheresse ou d'humidité cherché, pourrait se ramener au rapport des précipitations P à l'évaporation E. On aboutit à l'indice proposé par TRANSEAU (47) $I = P/E$. En l'absence de telles mesures suffisamment généralisées, le problème revenait à rechercher, à partir des éléments climatiques agissant directement sur l'évaporation, des expressions aussi simples que possible pour représenter E. Le plus souvent, on a fait appel soit à la température, soit à la tension de vapeur ou au déficit de saturation. Le facteur de pluie de Lang (28) $I = P/T$ et le quotient N. S. de A. MAYER : $Qns = P/D$ sont parmi les indices les plus connus. Citons encore, parmi

(1) Des données de cet ordre sont déjà mentionnées dans maintes publications, notamment dans le volume sur le climat de l'Algérie.

(2) On ne rappellera ici que quelques-unes des formules proposées, renvoyant pour un exposé plus détaillé aux mémoires de P. CURÉ et de A. COUTAGNE, cités en référence.

les formules proposées en France, l'indice d'aridité de DE MARTONNE (29)

$$I = \frac{P}{T + 10} \text{ et le quotient pluviothermique d'EMBERGER (16)}$$

$$Q = \frac{P}{2 \frac{(M + m)}{2} (M - m)} \times 100 = \frac{P}{M^2 - m^2} \times 100$$

où l'auteur fait intervenir les moyennes des températures maxima du mois le plus chaud (M) et des températures minima du mois le plus froid (m).

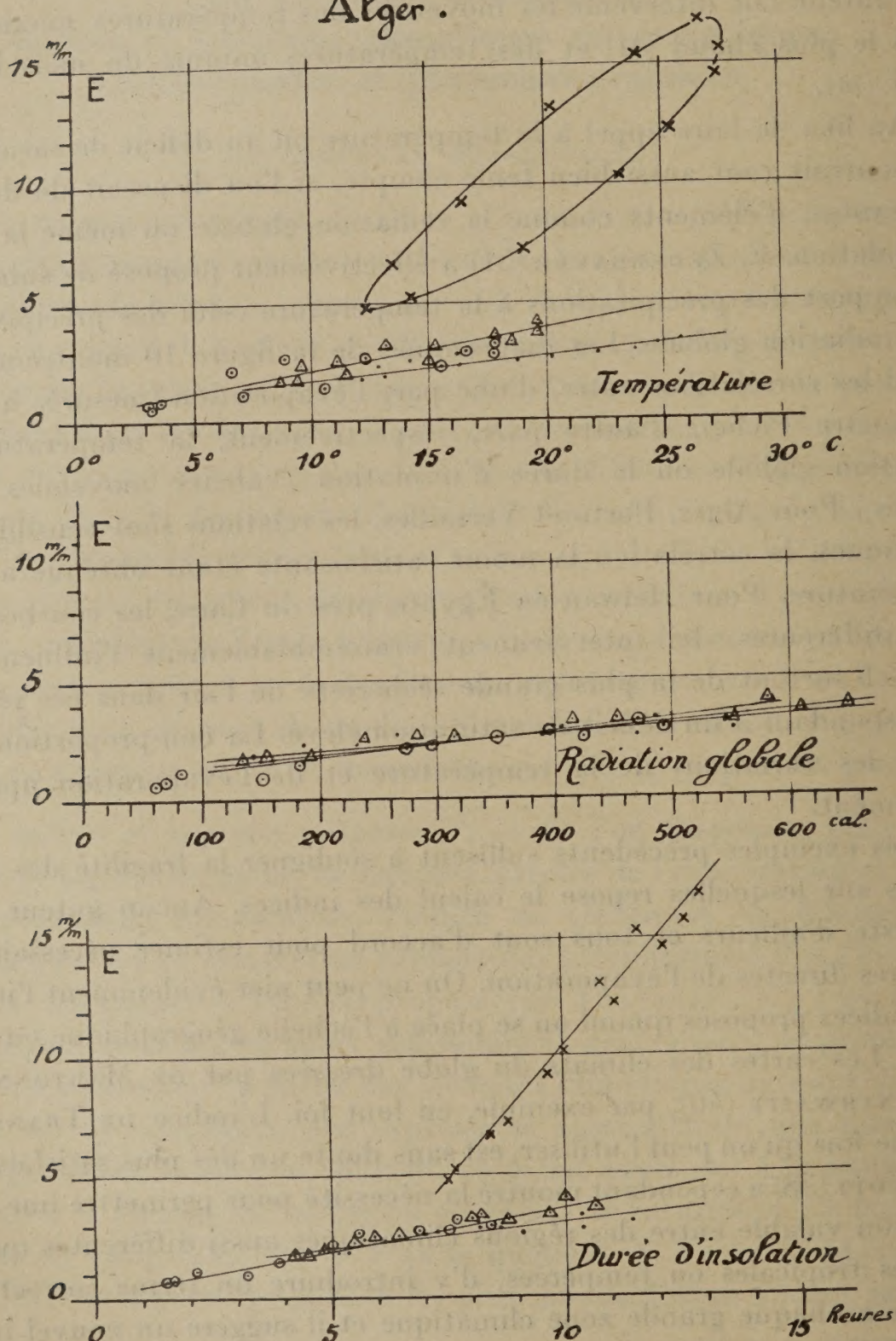
Au lieu de faire appel à la température ou au déficit de saturation, on pourrait tout aussi bien tenir compte, si l'on disposait de données suffisantes, d'éléments comme la radiation globale ou même la durée d'insolation. E. ZEDERBAUER (51) a effectivement proposé de substituer au rapport des précipitations à la température celui des précipitations à la radiation globale. Les diagrammes de la figure 10 montrent à cet égard les corrélations entre, d'une part l'évaporation (mesurée à l'évaporomètre Piche), d'autre part, respectivement, la température, la radiation globale ou la durée d'insolation (valeurs moyennes mensuelles). Pour Alger, Porto et Versailles, les relations sont sensiblement identiques, la corrélation la moins satisfaisante étant obtenue avec la température. Pour Helwan en Égypte, près du Caire, les courbes sont très différentes. Ici interviennent vraisemblablement l'influence du vent et surtout de la plus grande sécheresse de l'air dans ces régions, correspondant à un déficit de saturation élevé. La non-proportionnalité entre les variations de la température et de l'évaporation apparaît nettement.

Les exemples précédents suffisent à souligner la fragilité des hypothèses sur lesquelles repose le calcul des indices. Aucun auteur ne le conteste d'ailleurs et tous sont d'accord pour estimer nécessaire les mesures directes de l'évaporation. On ne peut nier évidemment l'intérêt des indices proposés quand on se place à l'échelle géographique ou mondiale. Les cartes des climats du globe dressées par DE MARTONNE ou THORNTHWAITE (46), par exemple, en font foi. L'indice DE TRANSEAU, chaque fois qu'on peut l'utiliser, est sans doute un des plus satisfaisants. PRESCOTT (38) a cependant montré la nécessité pour permettre une comparaison valable entre des régions climatiques aussi différentes que les régions tropicales ou tempérées, d'y introduire un terme correctif m , propre à chaque grande zone climatique et il suggère un nouvel indice $I = P/E^m$. A l'échelle locale où nous nous plaçons ici, le problème se présente différemment et doit être poussé plus à fond. Sans doute EMBERGER, en utilisant son quotient pluviothermique a-t-il pu préciser les différents sous-climats de la région méditerranéenne. Un indice basé

sur les données météorologiques annuelles ne saurait cependant traduire toutes les nuances d'un climat local. Certes, certaines des formules pro-

*Corrélation entre l'évaporation et la température,
la radiation globale ou l'insolation*
Versailles ○ Porto △ Helwan ×
Alger.

fig 10



posées se prêtent au calcul d'indices mensuels. Mais le mois, avons-nous dit, constitue une unité de temps purement arbitraire, vu la répartition discontinue des précipitations au cours de l'année. Peut-on,

dans une certaine mesure, tenir compte dans le calcul d'un indice mensuel du temps passé, c'est-à-dire des effets cumulatifs du climat, du bilan de l'eau préexistant dans un sol au début du mois considéré? C'est ce que nous avons personnellement tenté, il y a une dizaine d'années, à Versailles (19).

Nous sommes partis de l'indice de Transeau, rapport des précipitations à l'évaporation, celle-ci étant représentée non plus par l'évaporation d'une surface d'eau libre, mais par les mesures effectuées à l'évaporomètre de Piche. Comme hypothèse de travail, on a admis que, dans l'évaluation du bilan de l'eau correspondant à un mois déterminé, l'influence du mois en cours était prépondérante et égale à $1/2$, une importance égale étant accordée à l'ensemble de tous les mois précédents. Dans ces conditions, si on désigne par $i_1, i_2, \dots, i_n$ les rapports mensuels $i_1 = \frac{10 P_1}{E_1}, i_2 = \frac{10 P_2}{E_2}$ (le nombre 10 étant choisi arbitrairement et n'ayant aucune signification particulière), on a par hypothèse : $R_1 = i_1 = 10 P_1/E_1, R_2 = \frac{R_1 + i_2}{2} \dots R_n = \frac{R_{n-1} + i_n}{2}$. L'indice d'un mois donné se déduit ainsi du précédent en ajoutant à celui-ci le rapport $10 P_n/E_n$ du mois considéré et en faisant la demi-somme du total ainsi obtenu; son calcul est facile ⁽¹⁾. Pour tenir compte d'autre part du fait, qu'à partir du moment où le sol est saturé, toute précipitation supplémentaire ne constitue plus un gain pour le sol et est perdue par infiltration, il convenait de fixer une limite supérieure à l'indice. Sous le climat parisien et pour le sol considéré, cette limite a été trouvée égale à 15. Les valeurs de l'indice supérieures à 10 caractérisent les périodes humides, celles inférieures à 5 les périodes sèches.

Le graphique 1, figure 11, montre la corrélation très nette existant entre les variations de l'indice ainsi défini et celles de l'humidité du sol (sol non cultivé) à Versailles. Les diagrammes suivants (2 à 7) donnent, en outre, la variation annuelle de l'indice, utilisé cette fois comme indice caractéristique de la sécheresse d'un lieu donné, pour différentes régions. Les résultats obtenus sont satisfaisants. L'opposition par exemple entre les climats respectifs de Marseille et de Perpignan, ce dernier plus aride

(1) En explicitant R_n en fonction des rapports mensuels $i_1, i_2, \dots, i_n$, il vient

$$R_n = \frac{i_1}{2^{n-1}} + \sum_{p=2}^n \frac{i_p}{2^{n-p+1}}.$$

En limitant le calcul de R_n aux cinq mois précédant le mois de rang n , on a :

$$R_n = \dots + \frac{i_{n-5}}{2^6} + \frac{i_{n-4}}{2^5} + \frac{i_{n-3}}{2^4} + \frac{i_{n-2}}{2^3} + \frac{i_{n-1}}{2^2} + \frac{i_n}{2}.$$

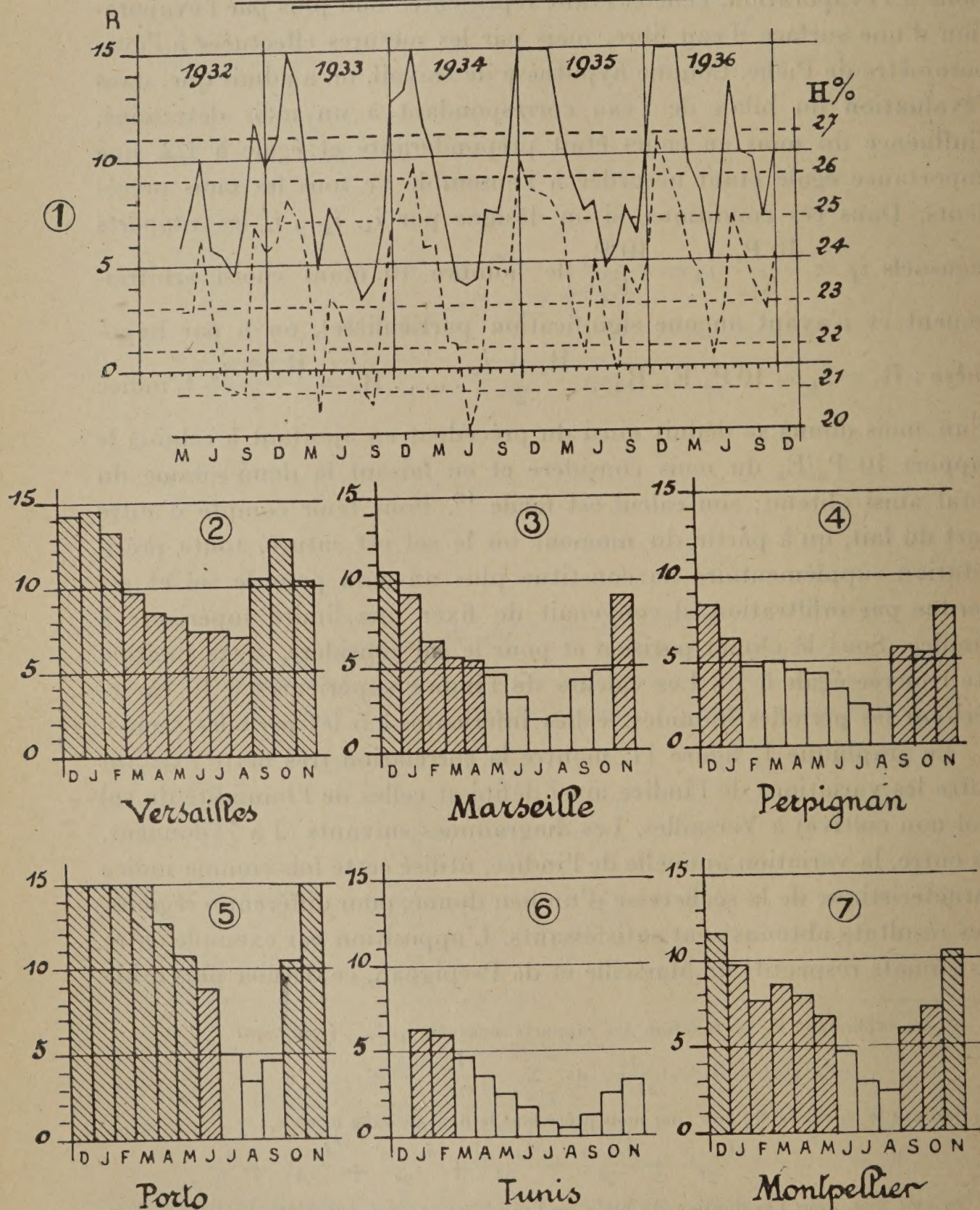
On voit que, dans l'évaluation du bilan de l'eau à un instant considéré, l'influence d'un mois donné diminue rapidement; au bout de cinq mois, elle est pratiquement négligeable et réduite à $\frac{1}{2^6}$, soit $1/64$. Sous le climat parisien, tout au moins, cette conclusion se justifie pleinement expérimentalement.

que le premier, est clairement accusée. En partant de cet indice, peut-on, relativement à une plante déterminée et à un lieu donné, définir

① *Indice* $R_n = \frac{R_{n-1} + I_n}{2}$ *et humidité' du sol*

fig 11

② à ⑦ Variation annuelle de l'Indice de Sécheresse R



un « indice de tendance », c'est-à-dire la valeur particulière de l'indice caractérisant le début de la sécheresse physiologique pour cette plante,

qui dépendra d'une part de la nature et de l'état physique du sol, d'autre part de la nature et de l'état de développement de la plante considérée, il n'est pas impossible de le penser. Ainsi, à Versailles, l'indice de tendance du blé est apparu voisin de 2 et il est curieux de constater que ce chiffre est normalement atteint à Tunis fin mai, au moment de la récolte des blés. S'appuyant sur cette notion de seuil physiologique de sécheresse, PORTERES (37), pour les régions tropicales, a proposé d'appeler indice de sécheresse le rapport de la hauteur d'eau en millimètres de la dernière pluie tombée à une époque donnée, au nombre de jours sans pluie correspondant au moment où la plante (ou le groupement végétal) considérée commence à souffrir de la sécheresse. Nous avons vu précédemment que TRUMBLE, appliquant cette notion au sol lui-même, a pu définir les zones climatiques de l'Australie. Il y a là un domaine intéressant à exploiter.

Précipitations, drainage et évaporation d'un sol. — En définitive, la recherche d'une formule climatique devrait s'appuyer sur l'étude expérimentale, en fonction des éléments climatiques eux-mêmes, des variations du bilan de l'eau, qu'il s'agisse d'un sol cultivé ou non, ou de l'ensemble d'une région. Nous avons déjà signalé quelques tentatives de cet ordre. On doit rappeler ici plus spécialement les travaux de CROWTHER (10). Appliquant la méthode statistique aux données fournies par les cases lysimétriques de Rothamsted, cet auteur établit la relation $D = 1.112 P - 0.318 T - 0.77$ donnant le drainage en fonction des précipitations (en centimètres) et de la température (en degrés centigrades). Des coefficients de régression trouvés, il déduit son facteur de lessivage ($P - 3.3 T$) (*leaching factor*) qu'il utilise à la comparaison des cartes des sols de PRASSOLOV et de MARBUT.

Plus récemment, S. HÉNIN (23 à 27) a repris en France cette question. S'appuyant lui aussi, au moins à l'origine, sur les données des cases lysimétriques, partant d'hypothèses de travail simples et de la relation initiale $P = D + E$ qui traduit le bilan annuel de l'eau en fonction des précipitations, du drainage et de l'évaporation (considérée comme le déficit d'écoulement), HÉNIN établit les relations suivantes :

$$(1) \quad E = \frac{P}{1 + \gamma P^2}, \quad D = \frac{\gamma P^3}{1 + \gamma P^2}.$$

ou encore

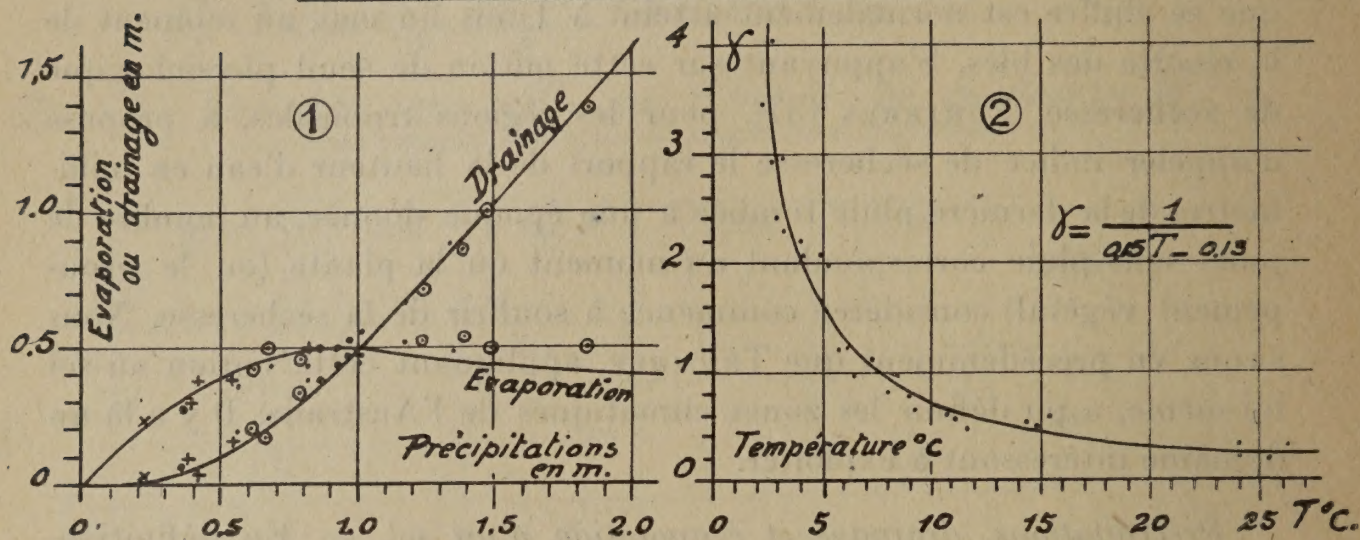
$$(2) \quad E_c = \frac{P_c}{1 + P_c^2}, \quad D_c = \frac{P_c^3}{1 + P_c^2} \text{ en posant } \begin{matrix} E_c^* = E \sqrt{\gamma} \\ P_c = P \sqrt{\gamma} \end{matrix}$$

où γ est un coefficient particulier mesurant « l'action globale des facteurs de l'évaporation du milieu considéré » et P_c une nouvelle expression des précipitations que l'auteur appelle « pluie normée ». Ce sont ces dernières

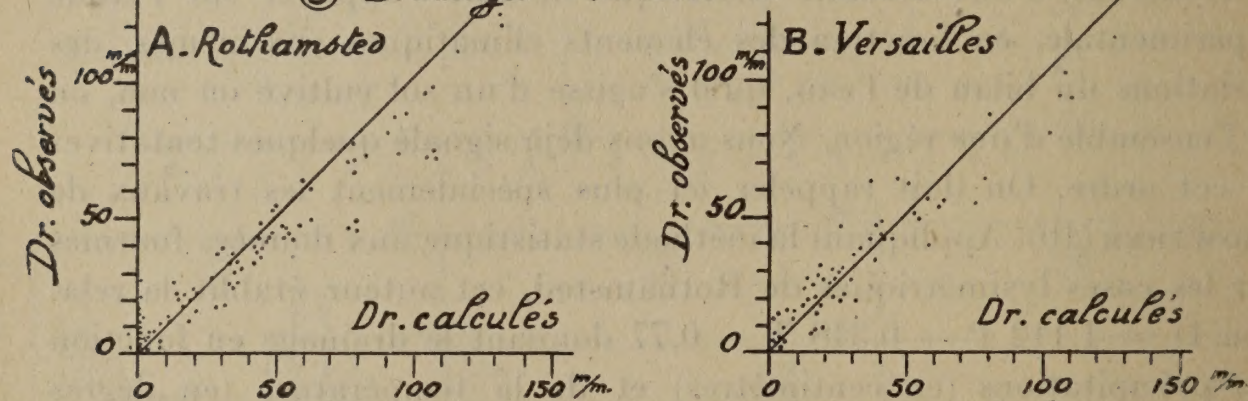
relations, indépendantes de γ qui sont représentées en 1 (fig. 12)

fig 12

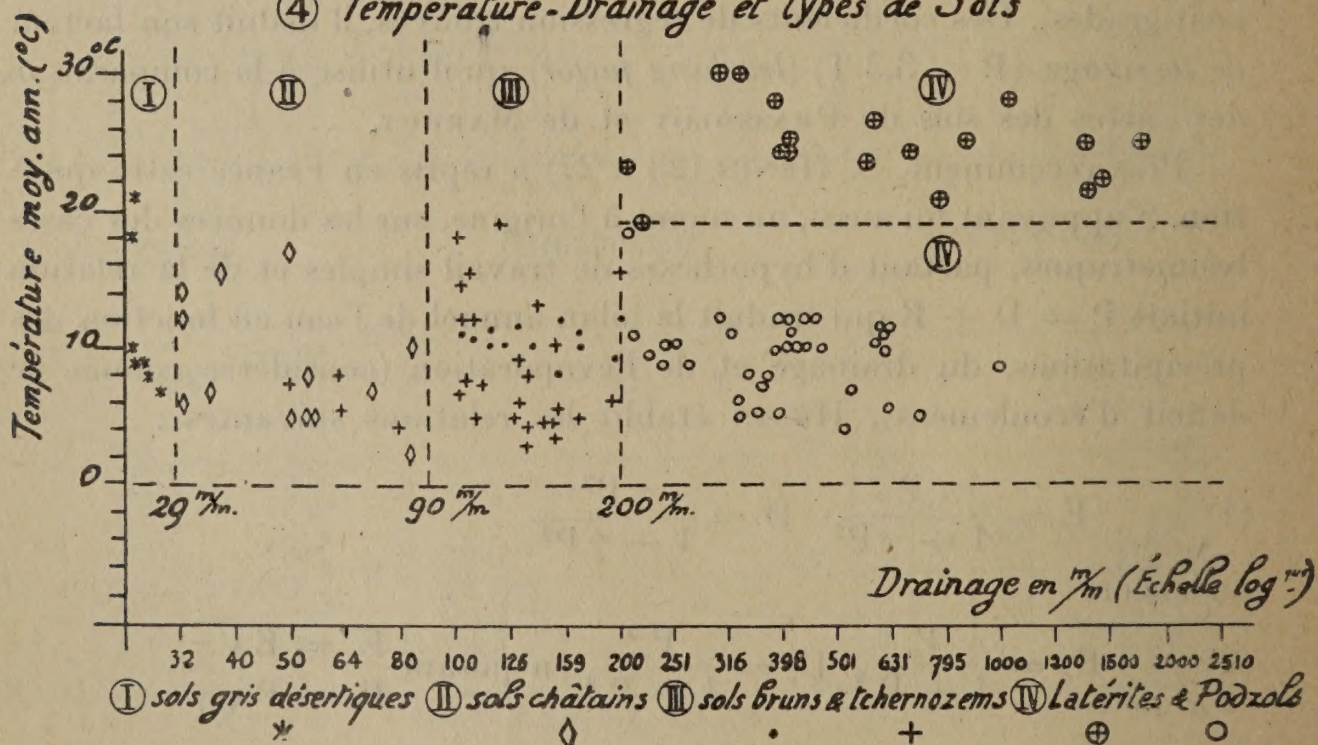
Précipitations, drainage et évaporation



③ Drainages calculés et observés



④ Température-Drainage et types de Sols



et qui permettent de comparer globalement les résultats obtenus en cases lysimétriques dans différentes régions : Rothamsted, Versailles,

stations des États-Unis, de l'Afrique du Nord, etc... On voit que les données expérimentales sur l'évaporation et le drainage, fournies par les études lysimétriques, s'accordent d'une manière très satisfaisante avec les relations théoriques établies par HÉNIN.

La courbe (2) met en évidence l'influence directe de la température sur la valeur de γ . Elle a été établie empiriquement en utilisant surtout les données hydrologiques portant sur les bassins fluviaux dont l'étude fournissait une gamme de variations de la température plus étendue que les données lysimétriques. La formule (3) $\gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$ ou T est exprimé en degrés centigrades n'est valable en toute rigueur, mentionne l'auteur, que si « la nature des terrains et la végétation correspondent à un type moyen ».

A l'échelle géographique, en comparant les « pluies normées » déduites de la relation $P_c = P \sqrt{\gamma}$, à l'indice d'aridité de DE MARTONNE, on constate un accord très étroit entre les deux séries de données. Ainsi se précise à nouveau expérimentalement la signification et l'intérêt qui s'attache, sur le plan de la climatologie générale, à la considération de cet indice ⁽¹⁾. Sur le plan local, il n'en est plus de même comme le démontrent les différences observées entre les γ calculés en fonction de la température (formule 3) et ceux déduits de la relation

(1) $E = \frac{P}{1 + \gamma P^2}$ donnant directement γ en fonction des données lysimétriques. Ainsi à Versailles, alors que γ est égal à 0,76 d'après la formule (3) pour l'ensemble du bassin parisien, on trouve au moyen des données lysimétriques des γ variant de 1 pour un sol cultivé, à 1,71 pour un sol non cultivé et 2,6 dans le cas d'un granit broyé. On notera cependant, comme un résultat satisfaisant, que le γ moyen calculé d'après la relation (3) pour l'ensemble des bassins fluviaux français soit justement voisin de l'unité, chiffre trouvé dans le cas d'un sol cultivé, en case lysimétrique. L'influence de la nature du sol sur la valeur de γ est encore soulignée par les résultats suivants déduits des observations de MIÈGE ⁽²⁾, au Maroc. On constate que γ varie en sens inverse de la teneur en argile du sol, passant de 0.825 à 1.02 et 1.52 quand la teneur en argile passe respectivement de 31 à 6 et 2 %; pour un sol contenant 18 % d'argile et 1,4 % d'humus, γ est d'autre part égal à 0.680. On observe une diminution de γ avec l'augmentation de

(1) Rappelons que A. COUTAGNE (9) a trouvé empiriquement la formule $D = E = 210 + 30 T$ pour représenter le déficit d'écoulement des différents bassins hydrologiques européens.

Dans la formule de l'indice d'aridité de DE MARTONNE ou $\frac{P}{E} = \frac{P}{T + 10}$, on a $E = 10 + T$ ou à un facteur constant près 25, $E = 250 + 25 T$ formule sensiblement identique à la précédente.

(2) Cf. S. HÉNIN, déjà cité (27).

la teneur du sol en colloïdes argileux et humiques. Ce résultat est normal, puisque, d'après les relations établies, l'évaporation varie comme le rapport $1/\sqrt{\gamma}$. De même, nous l'avons vu, γ est plus petit en sol cultivé qu'en sol nu.

Appliquées à l'étude de l'évolution des types de sol, les notions précédentes ont permis à S. HÉNIN et G. AUBERT de classer les sols en quatre groupes suivant l'intensité du drainage, calculée au moyen des relations (1) $D = \frac{\gamma P^3}{1 + \gamma P^2}$ et (3) $\gamma = \frac{1}{0,15 T - 0,13}$.

Les résultats de l'analyse ont porté sur 132 sols situés dans des régions très différentes; ils sont représentés graphiquement sur la figure 12 (graph. 4). Les températures moyennes annuelles en degrés centigrades sont portées en ordonnées, les drainages en millimètres en abscisses. De 0 à 30 mm. de drainage, se rencontrent les sols gris désertiques et les sols à croûte; de 30 à 90 mm. les sols châtaîns; de 90 à 200 mm. les sols bruns et les tchernozems; au-dessus de 200 mm. les sols latéritiques et podzoliques. Les auteurs notent que « ces valeurs limites du drainage paraissent indépendantes de la température, ce qui montre que le drainage calculé constitue un facteur spécifique d'évolution ». Ajoutons que les quelques valeurs aberrantes observées (4 tchernozems, par exemple, sur les 42 examinés) s'expliquent en faisant intervenir les valeurs réelles de γ , calculées à partir des données lysimétriques. La même méthode d'analyse a été utilisée par G. AUBERT (1) pour expliquer la formation et l'évolution des différents types de sol d'une région aussi limitée en étendue que l'Anjou français. L'auteur conclut que « le drainage, calculé en fonction de la pluviométrie et de la température annuelles, compte tenu de la perméabilité de la roche mère du sol, est susceptible de fournir une caractéristique microclimatique intéressante d'un lieu donné. »

Terminons cet exposé rapide des essais de S. HÉNIN en indiquant que l'auteur a essayé d'ajuster les premières relations établies par lui, à des périodes plus courtes que le mois, seules considérées jusqu'ici. Par un raisonnement analogue à celui dont nous sommes partis dans le calcul de notre indice, il a introduit dans les formules primitives, un terme correctif m , tenant compte des réserves d'eau initiales du sol à un instant donné. Les formules établies deviennent alors

$$(4) E = \frac{P + m}{1 + \gamma (P + m)^2} \text{ et } D = \frac{P (P + m)^2 - m}{1 + (P + m)^2} \text{ où } D \text{ peut prendre}$$

ainsi des valeurs négatives et n'a plus uniquement le sens d'un écoulement, mais plus généralement d'une perte d'eau. Appliquée à des périodes de dix jours, la corrélation existant entre les drainages calculés et ceux observés aussi bien à Rothamsted qu'à Versailles est satisfaisante (graph. 3, fig. 12).

L'exposé d'ensemble qui vient d'être fait du complexe chaleur-eau, montre combien les travaux des agronomes et des pédologues rejoignent ceux des biogéographes, des hydrologues et des météorologistes, combien tous ces travaux se complètent et s'éclairent les uns les autres. En fait, la majorité des indices proposés, établis en se plaçant à des points de vue fort différents, sont des rapports où figurent au numérateur les précipitations et au dénominateur une expression plus ou moins approchée de l'évaporation. A l'échelle géographique, ils constituent une approximation suffisante et on s'explique que les classifications des climats qui en découlent soient en fait peu différentes. A l'échelle locale, l'approximation atteinte ne serre plus d'assez près la réalité. Seules des recherches expérimentales systématiques, basées sur l'étude directe des variations du bilan de l'eau des différents types de sol, nus ou cultivés, s'appuyant par ailleurs sur des mesures directes de l'évaporation, dans des conditions soigneusement précisées, peuvent permettre une différenciation satisfaisante des climats locaux. Nous avons donné quelques exemples des résultats qu'on peut attendre d'une telle expérimentation.

2. LE COMPLEXE CHALEUR-LUMIÈRE.

En l'absence de mesures généralisées du rayonnement solaire, peu de tentatives ont été faites en vue de définir le complexe chaleur-lumière. Son importance et son étude ne peuvent être cependant négligées. L'assimilation chlorophyllienne et par suite le développement des plantes dépendent essentiellement des deux facteurs température et lumière, à partir du moment tout au moins où les besoins en eau de la plante sont satisfaits. Il s'agit évidemment ici d'un équilibre. Comment varie cet équilibre en un lieu donné, tel est le problème qui se pose.

D'une manière générale, en un lieu donné, on observe toujours un décalage de phase entre la marche annuelle de la température et celle de la radiation globale ⁽¹⁾. A Paris, par exemple, le maximum de température se produit en juillet-août alors que le maximum de la radiation globale s'observe au moment du solstice de juin. Il en résulte que, pour une même valeur de la radiation globale (300 calories), la température est plus basse au printemps qu'à l'automne (7° C au lieu de 14° C). S'il n'y avait pas décalage de phase, si la courbe des températures se superposait à celle de la radiation globale, on observerait, au moment des équinoxes la même température et celle-ci serait égale à la température moyenne de l'année. En réalité, la date à laquelle s'observe une telle température, égale à la moyenne annuelle, n'est atteinte au printemps

(1) Rappelons que la radiation globale peut être prise comme une mesure de la quantité de lumière reçue au cours d'une journée. Cf. Ch. MAURAIN, déjà cité (30).

et à l'automne qu'avec un certain retard, correspondant au décalage de phase. Ce retard, exprimé en jours, peut constituer une caractéristique intéressante du climat d'un lieu. PRESCOTT (39) a étudié cette question pour l'Australie en appliquant la méthode d'analyse en séries de FOURIER. Il constate que le décalage de phase observé au printemps entre la température et la radiation globale varie d'une manière régulière de dix jours dans le Nord de l'Australie à plus de quarante-cinq jours dans le Sud et le Sud-Ouest ⁽¹⁾. L'amplitude de la variation annuelle de la température (différence max.-min.), donnée classique de la météorologie, est au contraire maximum au centre du continent australien et minimum sur les côtes, traduisant les oppositions habituelles entre les régimes continentaux et maritimes. De son travail, PRESCOTT conclut que « de tels résultats peuvent jouer un rôle important dans la détermination du choix des cultures et de la qualité des récoltes ».

Étude du rapport : Radiation globale/Température. — Dans une note récente non publiée, à laquelle nous emprunterons l'essentiel de ce qui suit, notre ancien collaborateur M. GODARD a étudié directement les variations de l'équilibre radiation globale-température, caractérisé par le rapport R/T de ces deux quantités pour une période donnée (R exprimée en calories-grammes, T en degrés centigrades). La variation de ce rapport pour différentes stations est donnée figure 13, graphique 1. Le printemps des régions tempérées est caractérisé par une luminosité déjà élevée (300 calories) associée à des températures relativement faibles (7°C), ce qui correspond à un rapport R/T de l'ordre de 40. Au point de vue écologique, un tel complexe climatique semble avoir une action positive sur les processus déterminant la fructification de certaines plantes, par exemple le nombre d'épis par pied et le poids des grains par épi des blés alternatifs ⁽²⁾. En automne au contraire le rapport R/T est voisin de 20, correspondant pour le mois d'octobre à une température de l'ordre de 10°C et à une radiation de 200 calories seulement. La radiation insuffisante devient le facteur limitant l'accroissement des récoltes encore en terre comme la betterave sucrière, qui atteignent fréquemment leur point de compensation ⁽³⁾. Dans les régions équatoriales et tropicales au contraire, l'éclairement et la température varient relativement peu au cours de l'année. A MIAMI, en Floride (25° latitude nord) la radiation globale oscille entre 300 et 520 calories; à Batavia (8° latitude sud) elle se maintient sensiblement constante aux environs de 400 calories. En raison de la durée du jour plus courte de

(1) A titre de comparaison, nous donnons les retards de phases calculés pour quelques stations françaises : Brest 40, Cherbourg 42, Marseille 34, Le Puy 32, Paris 28 et Nancy 27.

(2) Cf. H. GESLIN (18).

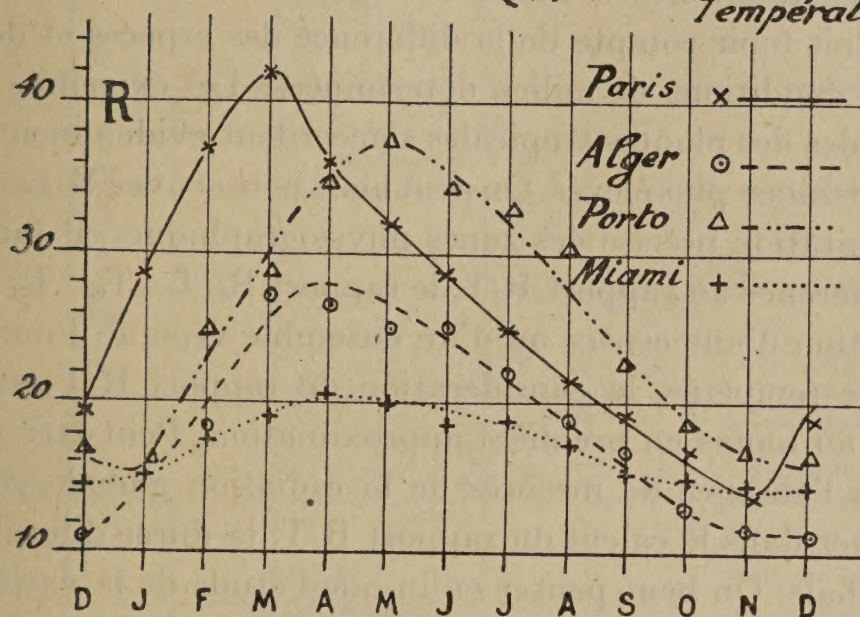
(3) Cf. M. GODARD (22).

ces régions, ces sommes de radiation correspondent presque toute l'année à des éclaircissements égaux ou supérieurs à ceux observés en moyenne

fig 13

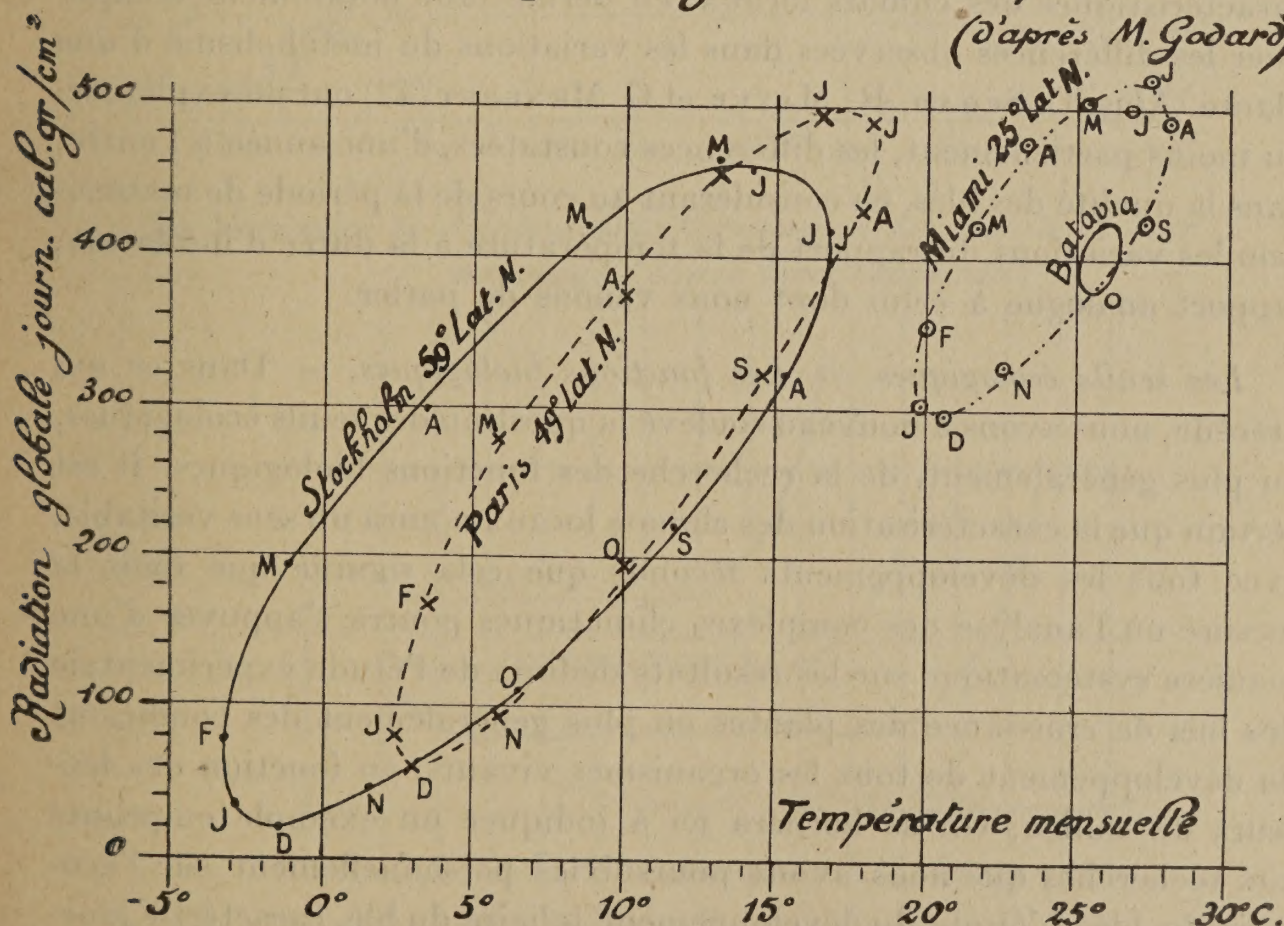
Radiation globale et Température

① Variation annuelle du Rapport $\frac{\text{Radiation globale}}{\text{Température}} = R$



② Variation annuelle de la Radiation globale et de la Température

(d'après M. Godard)



en juin à Paris. A ces éclaircissements élevés correspondent des températures elles-mêmes élevées, de sorte que le rapport de la radiation globale

à la température est notablement plus bas que dans les régions tempérées ou plus septentrionales. En Floride, il oscille entre 14 et 19; à Batavia, il se maintient toute l'année au voisinage de 16.

Par suite des conditions d'habitat très différentes que traduisent ces rapports, ou la simple comparaison de la variation de la radiation globale en fonction de la température (graph. 2, fig. 13), on peut se demander ceux correspondant à un optimum écologique pour le développement des végétaux. Les données biologiques de base manquent à cet égard. On doit tenir compte de la différence des espèces et de leur adaptation à des conditions de milieu déterminées. Les exigences thermiques plus grandes des plantes tropicales s'accordent évidemment avec des « zéros » de croissance plus élevés. On peut alors penser avec M. GODARD que dans la délimitation précise des zones physiographiques, il faudrait considérer de préférence au rapport R/T , le rapport $R/(T - T_0)$, T_0 étant le zéro de végétation d'une espèce ou d'un ensemble végétal. Pour l'ensemble de la zone tempérée, la considération du rapport R/T est sans doute suffisante, au moins en première approximation. Peut-être même est-il possible, en l'absence de mesures de la radiation globale généralisées, de substituer dans le calcul du rapport R/T , la durée d'insolation à la radiation globale. On peut penser enfin que l'étude de la variabilité interdiurne ou mensuelle ⁽¹⁾ de ce rapport conduira à préciser certaines caractéristiques des climats locaux, en permettant notamment d'expliquer les différences observées dans les variations du métabolisme d'une plante. Ainsi C. SCHAD, R. MAYER et G. MENERET (42) ont pu expliquer, au moins partiellement, les différences constatées, d'une année à l'autre, dans la qualité des blés, en considérant au cours de la période de maturation les variations du rapport de la température à la durée d'insolation, rapport analogue à celui dont nous venons de parler.

Les seuils écologiques. — Les fonctions biologiques. — Dans ce qui précède, nous avons à nouveau soulevé la question des seuils écologiques, ou plus généralement, de la recherche des fonctions biologiques. Il est certain que la caractérisation des climats locaux n'aura un sens véritable, avec tous les développements féconds que cela signifie que dans la mesure où l'analyse des complexes climatiques pourra s'appuyer d'une manière systématique sur les résultats déduits de l'étude expérimentale des lois de croissance des plantes ou plus généralement des conditions de développement de tous les organismes vivants, en fonction des facteurs du milieu. On se bornera ici à indiquer un exemple emprunté aux recherches que nous avons poursuivies personnellement sur l'écologie du blé. L'étude du développement foliaire du blé, caractérisé jour-

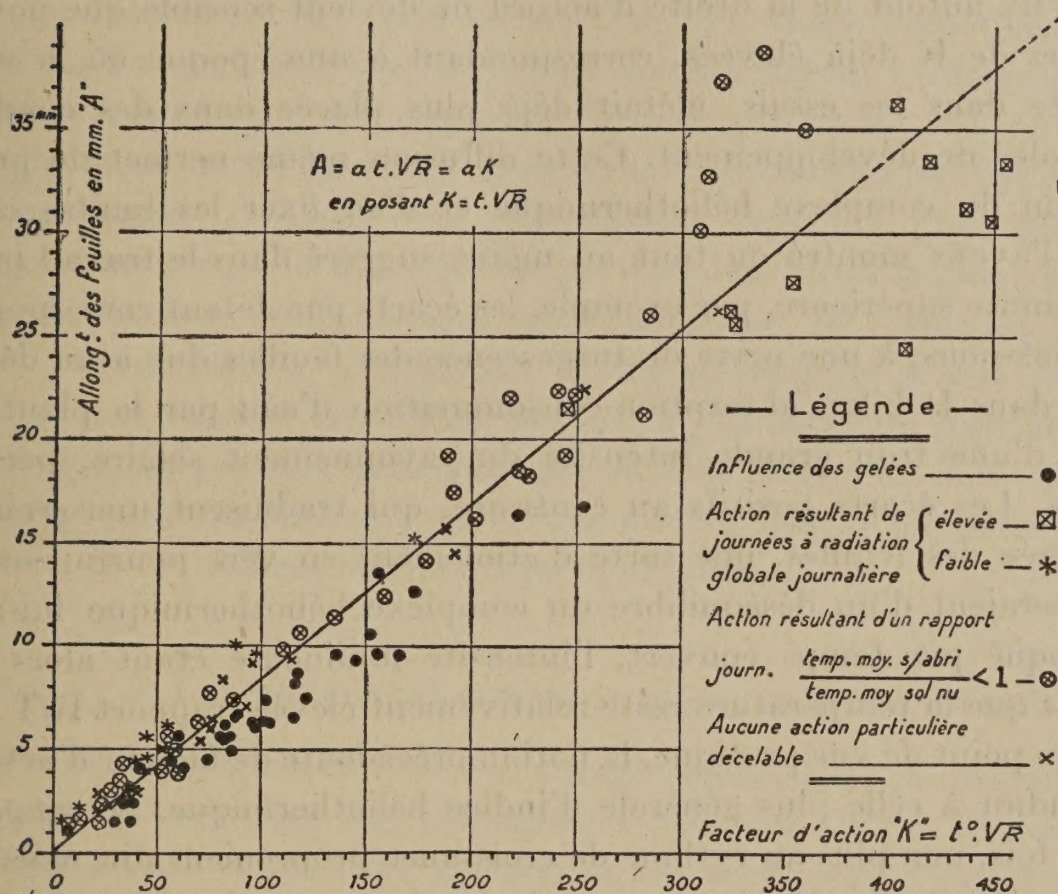
(1) En valeur moyenne mensuelle pour le mois de juillet et à Versailles, le rapport R/T a ainsi varié de 24 à 33 suivant les années (période 1937-1943).

nellement par l'allongement moyen d'un certain nombre de feuilles, a permis de définir, directement dans les conditions naturelles du plein

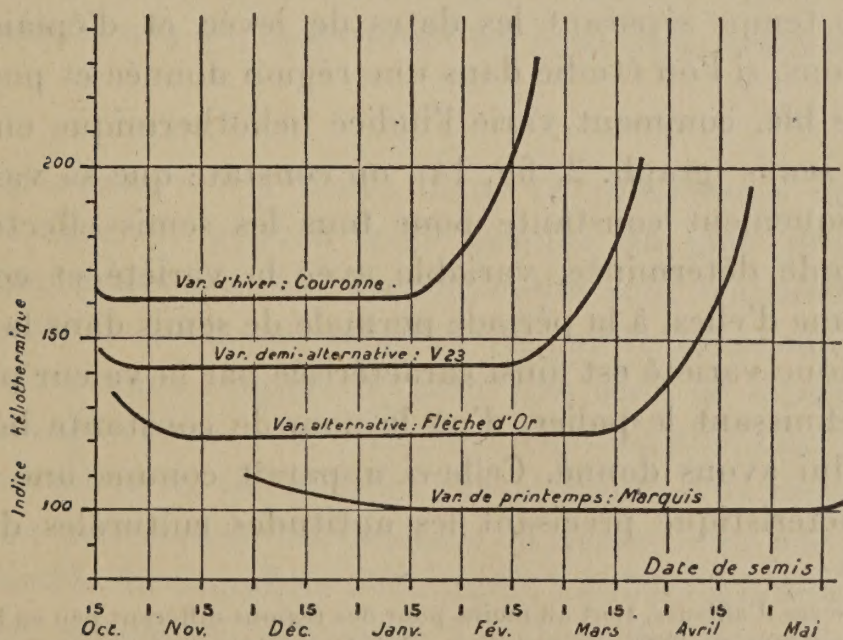
fig. 14

① Développement foliaire du blé et Facteur d'Action "K"

$$K = t^{\circ} \times \sqrt{R}$$



② Variation de l'indice héliothermique en fonction de la date de semis (phase levée-épiaison)



champ, l'action simultanée des deux facteurs température et radiation globale (facteur lumière). On aboutit (fig. 14, graph. 1) à la relation

expérimentale $A = a. t. \sqrt{R} = a. K$. Au produit $K = t. \sqrt{R}$ de la température moyenne journalière par la racine carrée de la radiation globale, nous avons donné le nom de « facteur physique élémentaire d'action K ». Le facteur « K » est une des fonctions biologiques dont on peut préconiser la recherche par la méthode expérimentale.

La relation obtenue est évidente. La diffusion des « points » expérimentaux autour de la droite d'accord ne devient sensible que pour des valeurs de K déjà élevées, correspondant à une époque où la variété utilisée dans les essais, n'était déjà plus placée dans des conditions normales de développement. Cette diffusion même permet de préciser l'action du complexe héliothermique et d'en fixer les limites comme nous l'avons montré ou tout au moins suggéré dans le travail précité. A la limite supérieure, par exemple, les écarts par défaut correspondent, pensons-nous, à une perte de turgescence des feuilles due à un déséquilibre dans le bilan absorption-consommation d'eau par la plante, par suite d'une trop grande intensité du rayonnement solaire, par beau temps. Les écarts positifs au contraire, qui traduisent une croissance exagérée des feuilles, une sorte d'étiollement en vert pourrait-on dire, résulteraient d'un déséquilibre du complexe héliothermique lui-même, provoqué par temps couvert, l'intensité lumineuse étant alors faible tandis que la température reste relativement élevée (rapport R/T petit).

Du point de vue pratique, la notion précédente de facteur d'action K, a conduit à celle plus générale d'indice héliothermique. Se rapportant cette fois, non plus au rythme de croissance proprement dit, mais à une phase donnée du développement de la plante, la phase levée-épiaison, l'indice est égal à la somme des facteurs élémentaires d'action K accumulés, relativement à l'intervalle de temps considéré, c'est-à-dire l'intervalle de temps séparant les dates de levée et d'épiaison ⁽¹⁾. Dans ces conditions, si l'on étudie dans une région donnée et pour différentes variétés de blé, comment varie l'indice héliothermique en fonction de la date de semis (graph. 2, fig. 14), on constate que sa valeur se maintient pratiquement constante pour tous les semis effectués au cours d'une période déterminée, variable avec la variété et correspondant, pour chacune d'elles, à la période normale de semis dans la région considérée. Chaque variété est ainsi caractérisée par la valeur particulière de l'indice définissant le palier, d'où le nom de constante héliothermique que nous lui avons donné. Celle-ci apparaît comme une norme écologique caractéristique précisant les aptitudes culturales des différentes

(1) Dans ce cas d'ailleurs, tout au moins pour des régions différant peu en latitude, le calcul de l'indice peut être simplifié et ramené à celui du produit de la somme des températures moyennes journalières accumulées par la durée moyenne du jour correspondante. On associe ainsi, dans une combinaison simple, la température, le temps et le nombre d'heures de travail de la plante à la lumière. En l'absence de mesures directes de la radiation globale, la généralisation des résultats à l'échelle géographique s'en trouve facilitée.

variétés. En passant des blés d'hiver à ceux de printemps, la valeur de la constante diminue progressivement; le palier qui la définit se déplace vers la droite, c'est-à-dire vers les semis tardifs de printemps; dans chaque cas, la position du palier indique les dates extrêmes de semis, notamment au printemps.

L'exemple que nous venons de donner suffit à souligner l'importance fondamentale de telles recherches d'écologie expérimentale. On sait depuis longtemps que les plantes sont de parfaits « intégrateurs » de l'action cumulative des différents facteurs du climat. On pourrait dire de même à propos du sol. Biogéographes et botanistes ont fait depuis longtemps appel à l'étude des groupements végétaux pour préciser les zones climatiques; ils n'ont été limités dans leur effort le plus souvent que par le manque d'informations météorologiques. De même les observations phénologiques, à condition d'être poursuivies à une échelle suffisante, ont conduit dans bien des cas, à des résultats substantiels. Nous restons cependant persuadé que la différenciation des climats locaux repose essentiellement sur l'étude directe, par la méthode expérimentale, des équilibres bioclimatiques eux-mêmes.

3. LES REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES DES CLIMATS.

La méthode graphique offre l'avantage considérable de rendre plus frappantes les variations des phénomènes que l'on étudie, de faciliter les comparaisons et de faire apparaître les contrastes. Nous l'avons largement utilisée au cours de cet exposé. Il était indiqué d'y faire à nouveau appel pour tenter de réaliser une représentation synthétique des climats. Les essais dans ce domaine sont nombreux. Nous n'en retiendrons que quelques-uns qui montreront les voies dans lesquelles on peut s'engager.

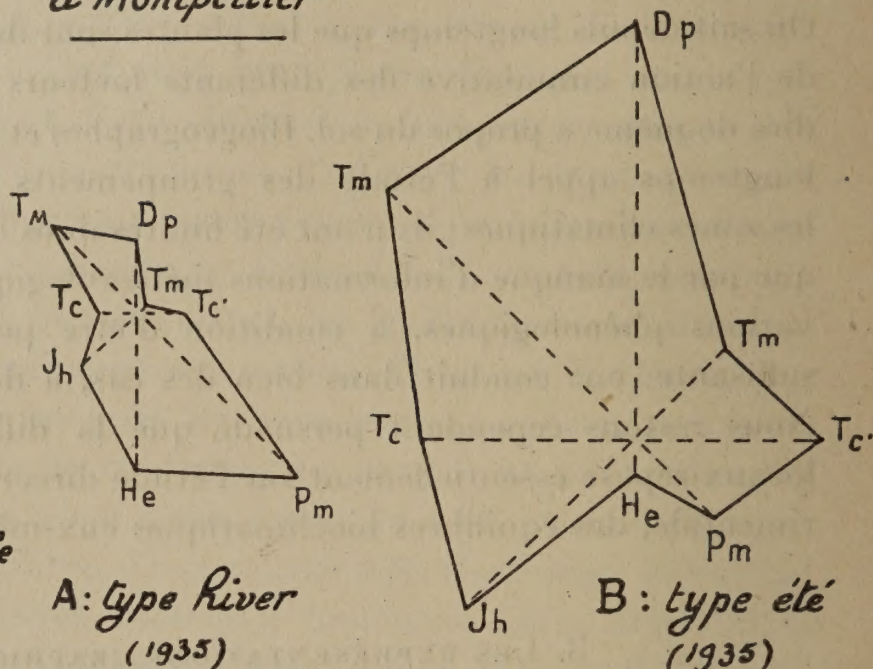
Les climogrammes. — *A priori*, dans l'établissement des « climogrammes », il faudrait pouvoir tenir compte du plus grand nombre d'éléments climatiques possible. Les difficultés sont évidentes. L. CHAPTAL(8) a proposé, en 1933, une solution qui paraît intéressante. Autour d'un point pris comme origine, rayonne une série de droites formant entre elles des angles égaux; sur chacune d'elles, en adoptant une échelle appropriée, on porte la valeur d'un des éléments climatiques choisis. En joignant les points ainsi déterminés, on délimite un polygone symbolisant l'ensemble du complexe climatique. Les climogrammes peuvent être journalier, saisonnier ou annuel. Le choix des éléments, la façon de les grouper, dépendent du but poursuivi. L'exemple donné figure 15, graphique 1, se rapporte à la pédologie. T_c et T_s représentent les températures moyennes du sol en profondeur. Tous les éléments figurés

au-dessus de la droite $T_c-T'_c$ sont ceux favorisant l'évaporation : températures extrêmes à la surface du sol, déficit de saturation; ceux

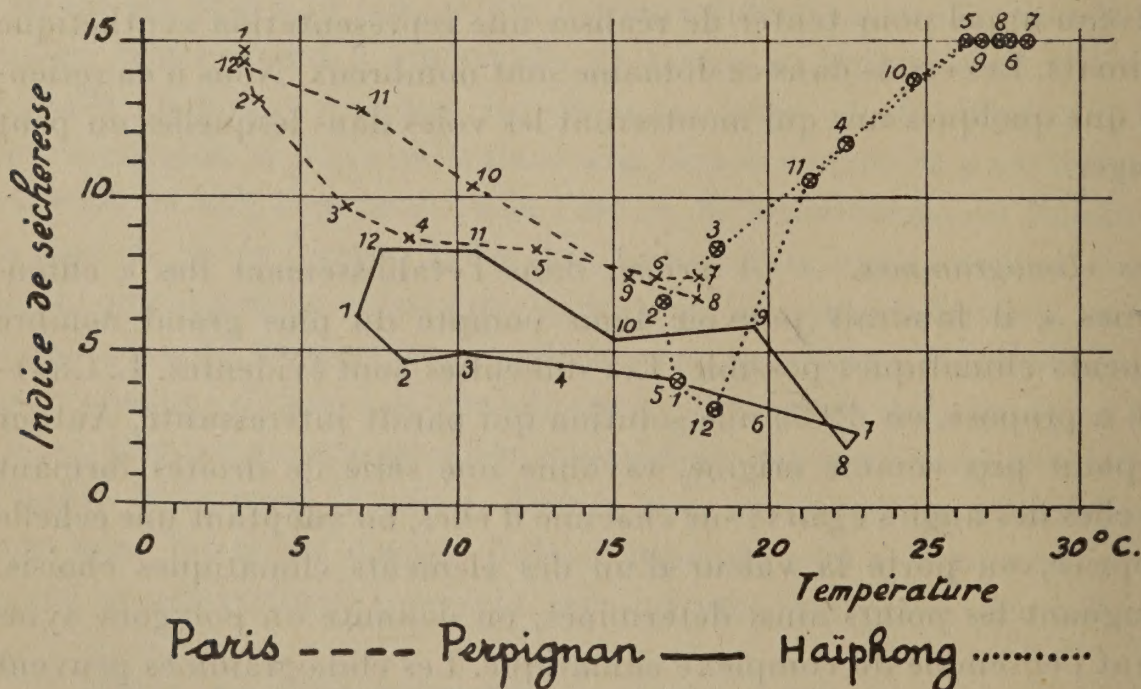
① *Exemple de climogramme appliqué à la
Pédologie. (d'après L. Chaptal)
à Montpellier*

fig 15

T_c : temp^{ture} moy. sol à 0^m.05 °C
 T_M : temp^{ture} max. surface du sol
 D_p : déficit saturation
 T_m : temp^{ture} min. surface du sol
 T'_c : temp^{ture} moy. sol à 0^m.50
 P_m : hauteur de pluie
 H_e : hauteur efficace de pluie
 J_h : nb. de jours brouillard ou rosée



② *Climogrammes Température-indice de sécheresse (d'après H. Geslin)*



situés au-dessous commandent les pertes par infiltration, les précipitations notamment. Les échelles de notation étant convenablement choisies, un grand développement de la partie inférieure du climogramme

par rapport à la partie supérieure (type d'hiver à Montpellier en 1935) indique des conditions favorables aux formations superficielles éluviales; c'est l'inverse en été où les conditions climatiques sont favorables aux formations superficielles illuviales.

En réalité, comme dans le cas des formules ou indices précédemment examinés, on a simplifié le problème en se limitant à deux éléments climatiques ou en ayant recours à des combinaisons de ces éléments. Dans une représentation graphique à deux axes de coordonnées rectangulaires, on peut ne considérer, pour une station donnée, que les valeurs annuelles des éléments climatiques choisis. C'est le dispositif le plus simple. Chaque station étant représentée sur le diagramme par un seul point, les comparaisons à l'échelle géographique sont facilitées. On aboutit au diagramme classique précipitations-température de LANG ou à celui de S. HENIN dont nous avons parlé à propos de la classification des types de sol en fonction du drainage. On peut d'ailleurs associer un élément climatique déterminé et les valeurs calculées à partir d'un des indices indiqués précédemment : on a ainsi la possibilité de tenir compte de plus de deux éléments. Ainsi EMBERGER a amélioré son quotient pluviothermique en l'introduisant en ordonnées dans une représentation graphique où la température moyenne des minima du mois le plus froid figure en abscisses.

A l'échelle locale, pour préciser les nuances d'un climat, les valeurs annuelles des éléments climatiques doivent être remplacées par les données mensuelles. Chaque station est alors représentée (graph. 2, fig. 15) par les douze points figuratifs de chacun des douze mois considérés, numérotés de 1 à 12. En joignant les points un à un, on aboutit à la représentation classique de G. TAYLOR. Ici encore, on peut associer un élément climatique déterminé et un indice combinant l'action d'autres éléments. C'est le cas des climogrammes température-indice de sécheresse représentés sur la figure 15 (graph. 2). Dans ce domaine, l'ingéniosité des chercheurs a pu s'exercer à l'infini, le choix des éléments de base dépendant naturellement des problèmes posés. Le plus souvent, on a considéré les facteurs ayant une action directe ou indirecte sur le degré de sécheresse ou d'humidité d'une région. P. CARTON (5) a donné de nombreux exemples d'application de ces climogrammes. Citons ceux de TAYLOR (précipitations-température), d'AZZI (humidité relative-température), de CARTON (évaporation-température), etc... Mais on peut également faire appel à des éléments comme la radiation globale, la durée d'insolation ou même la durée du jour. On a alors les climogrammes température-durée du jour, température-radiation globale, etc..., dont nous avons donné quelques exemples au cours de cet exposé. Citons encore le diagramme polygonal de L. PLANTEFOL (36) intensité lumineuse-humidité. Un défaut, d'ailleurs très relatif, commun à tous

ces climogrammes, apparaît dans la difficulté d'en rassembler un grand nombre sur un même graphique, quand il s'agit de comparaisons à l'échelle géographique. On peut y remédier en partant d'un climogramme de base auquel on comparera, sur des graphiques successifs, l'ensemble des stations intéressées. On peut encore schématiser chaque climogramme par la droite joignant les points figuratifs des deux mois extrêmes. A chaque station correspond ainsi un vecteur, défini à la fois par son coefficient angulaire par rapport à une droite origine, commune à toutes les stations en comparaison, et par sa longueur. On aboutit alors à la représentation en faisceaux de MONOD (32).

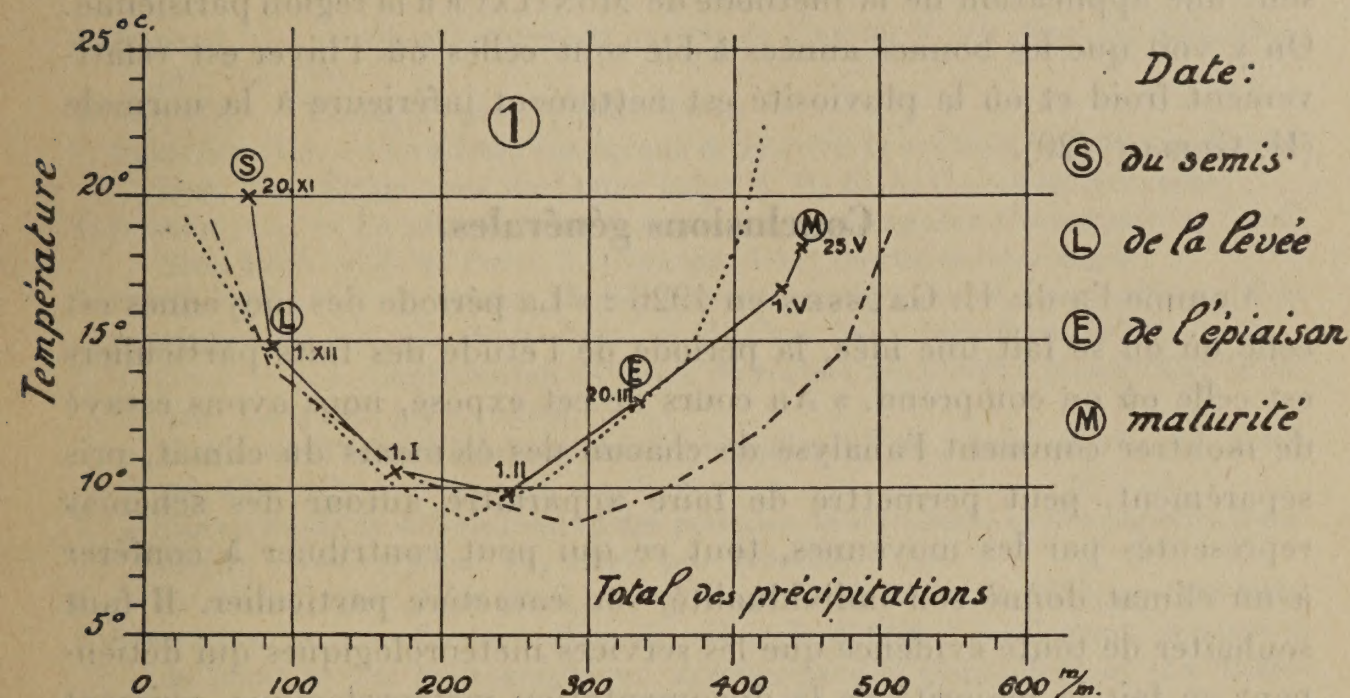
Climogrammes et phytoclimogrammes. — Comme nous l'avons fait, à la fin de chacun des chapitres qui ont jalonné cette étude, on doit affirmer à nouveau que rien de vraiment constructif ne sera fait, au moins à l'échelle locale, si l'on ne s'appuie pas sur des résultats que seule l'étude directe, par la méthode expérimentale, des problèmes biologiques ou pédologiques posés, peut fournir. Sans parler ici, malgré son originalité et son intérêt, de la méthode d'analyse chromatique proposée par H. GAUSSEN (17) et appliquée par cet auteur à l'étude de la géographie botanique ⁽¹⁾, nous donnerons simplement un exemple très suggestif, emprunté à l'agronomie, d'application directe des climogrammes à l'étude des exigences climatiques du blé. Cet exemple est dû à MONTLAUR (33).

En Tunisie, où l'auteur a poursuivi son travail, on peut considérer que la vitesse de croissance et le rendement du blé dépendent principalement de la température du milieu et de la quantité totale d'eau reçue au cours de la période de végétation. Il existe évidemment, pour un biotype donné, une combinaison de ces deux facteurs pour laquelle la vitesse de croissance et le rendement sont maximums. L'étude, pendant un nombre d'années suffisant, dans des régions variées, et suivant la méthode des semis échelonnés, des courbes logarithmiques de croissance, permet de déduire les conditions optimums de développement, c'est-à-dire les normes écologiques de la culture. Celles-ci peuvent alors servir à l'établissement d'un phytoclimogramme de référence (fig. 16, graph. 1) en portant en abscisses les quantités d'eau totalisées mois par mois et en ordonnées les températures moyennes, correspondant, pour chacune des phases du développement du biotype considéré, aux conditions optimums de développement. La comparaison de ce phytoclimogramme de référence, qui traduit graphiquement le climat type de la plante considérée, avec les climogrammes pluviothermiques annuels établis pour des régions différentes, permet non seulement de

(1) On en trouvera un exposé détaillé, en dehors du mémoire original de l'auteur, dans P. CURÉ, déjà cité.

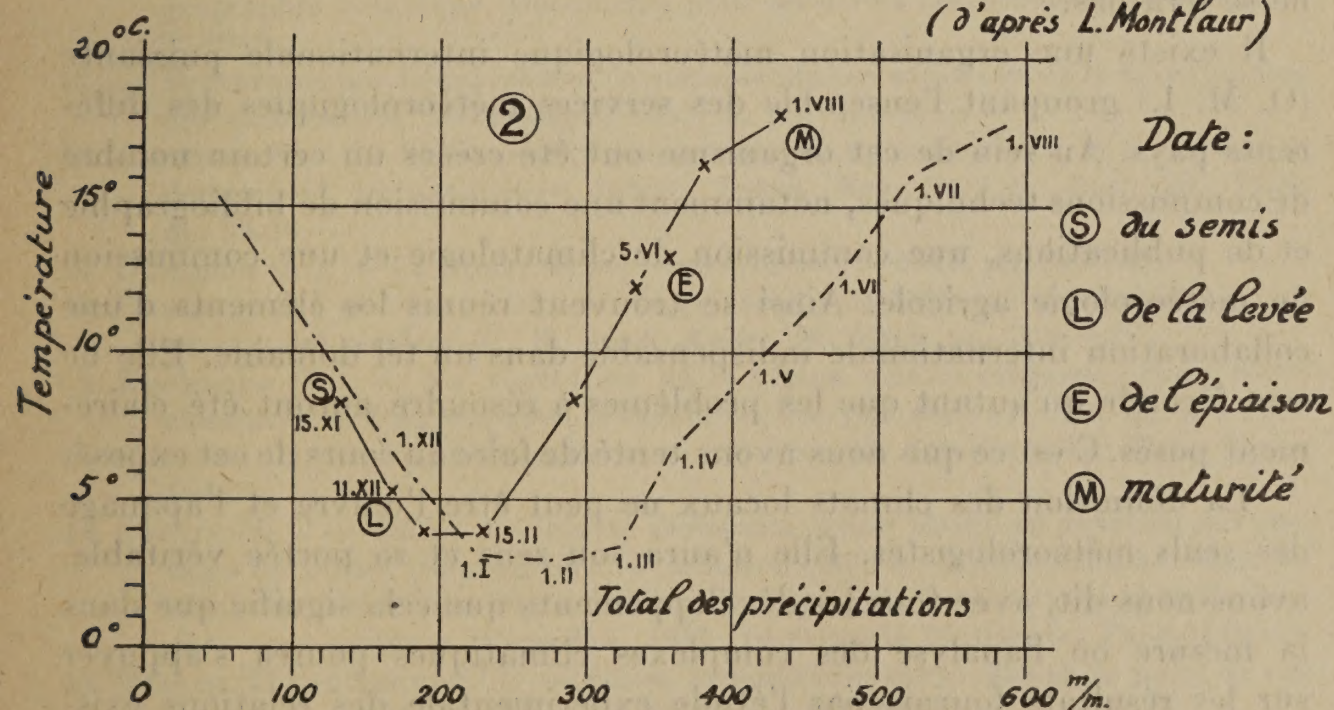
fig 16

Comparaison des phytoclimogrammes (normes écologiques)
et des climogrammes (normales pluviothermiques)



x—x Phytoclimogramme du blé Pusa x Florence 3816
- - - - - Climogramme de la région de Béja (Tunisie)
..... Climogr. de la région de Souk el Khemis (Tunisie)

(d'après L. Montlaur)



x—x Phytoclimogramme du blé Vilmorin 23
- - - - - Climogramme de la région parisienne

(d'après H. Geslin)

prévoir le rendement et la valeur industrielle de la récolte, mais encore de déduire la possibilité de la culture dans une région déterminée. On voit par là tout l'intérêt que présente l'utilisation d'une telle méthode d'investigation dans la recherche de l'adaptation régionale des cultures au temps. Ainsi se trouve renouvelée et précisée expérimentalement la notion des « équivalents météorologiques » d'Azzi (2). Les graphiques 2, figure 16, sont une application de la méthode de MONTLAUR à la région parisienne. On y voit que les bonnes années à blé sont celles où l'hiver est relativement froid et où la pluviosité est nettement inférieure à la normale (H. GESLIN) (20).

Conclusions générales.

Comme l'a dit H. GAUSSEN en 1926 : « La période des moyennes est celle où on se fait une idée, la période de l'étude des faits particuliers est celle où on comprend. » Au cours de cet exposé, nous avons essayé de montrer comment l'analyse de chacun des éléments du climat, pris séparément, peut permettre de faire apparaître autour des schémas représentés par les moyennes, tout ce qui peut contribuer à conférer à un climat donné son individualité, son caractère particulier. Il faut souhaiter de toute évidence que les services météorologiques qui détiennent en fait la majorité de la documentation météorologique, puissent entreprendre ou poursuivre non seulement un dépouillement systématique des données existantes, mais encore une prospection en profondeur des différentes régions, sans lesquels la caractérisation des climats locaux ne se fera pas.

Il existe une organisation météorologique internationale puissante (O. M. I.) groupant l'ensemble des services météorologiques des différents pays. Au sein de cet organisme ont été créées un certain nombre de commissions techniques, notamment une commission de bibliographie et de publications, une commission de climatologie et une commission de météorologie agricole. Ainsi se trouvent réunis les éléments d'une collaboration internationale indispensable dans un tel domaine. Elle ne sera féconde qu'autant que les problèmes à résoudre auront été clairement posés. C'est ce que nous avons tenté de faire au cours de cet exposé.

La définition des climats locaux ne peut être l'œuvre et l'apanage des seuls météorologistes. Elle n'aura son sens et sa portée véritable, avons-nous dit, avec tous les développements que cela signifie que dans la mesure où l'analyse des complexes climatiques pourra s'appuyer sur les résultats fournis par l'étude expérimentale des relations existant entre le climat, le sol et le monde vivant. Ainsi sera restitué à la notion de climat, comme l'a demandé notamment M. SORRE (43), son caractère essentiel tout pénétré de biologie, qui en fait une réalité vivante et non une simple abstraction basée sur des moyennes. A cet égard, les

nombreux essais tentés tant par les biogéographes et les écologistes que par les agronomes et les pédologues, apportent une contribution essentielle. Nous avons essayé de dégager des tendances, de préciser des méthodes.

Index bibliographique.

1. AUBERT (G.). — Observations sur les sols de l'Anjou (*C. R. Acad. Sc.* 221, 1945, pp. 755-756).
2. AZZI (G.). — *Ecologia agraria*, 1928. Turin.
3. BERNARD (E.). — Le climat écologique de la cuvette centrale congolaise; Public. Inst. Nat. Étude agro. du Congo belge (I. N. E. A. C.), 1945, Bruxelles.
4. BESSON (L.). — La pluie à Paris d'après cinquante années d'observations (*Ann. Serv. techn. Ville de Paris*, 5, 1924, pp. 1-40) (partie météorologie).
5. CARTON (P.). — Formules climatiques et climogrammes susceptibles d'être utilisés en écologie (*Bull. Instr. publ. Gouv. gén. Indochine*, 1932).
6. CHAPTAL (L.). — Contribution à l'étude du régime des pluies à Montpellier (*Bull. Soc. Langued. géog.*, 1935).
— Une série d'années pluvieuses à Montpellier (*C. R., Acad. Agric.*, 23, 1937, pp. 729-731).
7. — Sur un mode de détermination des périodes de sécheresse et des périodes d'humidité (*Ann. Agron.*, 14, 1944, pp. 443-453).
8. — Le climat pédologique (*Bull. Assoc. franç. Étude du sol*, 2, 1936, pp. 192-208).
9. COUTAGNE (A.). — L'évaporation du sol et le déficit d'écoulement, considérés du point de vue hydrographique, agronomique et climatologique (*La Météorologie*, 1942-2, pp. 150-176 et 1943-2, pp. 125-146).
10. CROWTHER (E.-M.). — The relationship of climatic and geological factors to the composition of Soil clay and the distribution of soil types (*Proc. Roy. Soc.*, série B, 107, 1930, p. 1-30).
11. CURÉ (P.). — Les essais de représentations synthétiques des climats pour la géographie botanique. Documents pour les cartes des productions végétales, 3, 1943.
12. — Remarques sur l'équivalence de certains indices utilisés pour la classification des climats (*La Météorologie*, 1945, 2, pp. 202-207).
13. DAVIDSON (J.). — The monthly precipitation-evaporation ratio in Australia as determined by saturation deficit (*Trans. Roy. Soc. S. Aust.* 58, 1934, pp. 33-36).
14. DEMOLON (A.). — Le climat du sol (*Ann. Agron.*, 7, 1937, pp. 625-639).
15. DEMOLON (A.) et GESLIN (H.). — Le printemps de 1938 et l'approvisionnement en eau des récoltes (*C. R. Acad. Agric.*, 24, 1938, pp. 702-709).
16. EMBERGER (L.). — La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux (*Rev. gén. Bot.*, 42, 1930, pp. 705-721).
17. GAUSSEN (H.). — Végétation de la moitié orientale des Pyrénées. Thèse, Paris, 1926.
18. GESLIN (H.). — Étude des lois de croissance d'une plante en fonction des facteurs du milieu (température et radiation solaire); contribution à l'étude du climat du blé. Thèse, Paris, 1944, et Monographie Centre national de Recherches agronomiques, Versailles, 1944. Imprimerie Nationale, Paris, éditeur.
19. GESLIN (H.) et SERVY (J.). — Pluies, humidité du sol et climat du point de vue agronomique (*Ann. Agron.*, 7, 1937, pp. 85-101).
20. GESLIN (H.). — Climat et rendement du blé dans la région parisienne (*C. R. Acad. Agric.*, 23, 1937, pp. 146-152).
21. GODARD (M.). — Température du sol et radiation solaire (*Ann. Agron.*, 14, 1944, p. 434-442).
22. — Le climat de la plante (*Ann. Agron.*, 14, 1944, pp. 200-214).

23. HENIN (S.) et TERNISIEN (J.). — Sur une relation entre la pluviosité, le drainage et l'évaporation (*C. R. Acad. Sc.*, 219, 1944, pp. 80-82).
24. HÉNIN (S.) et GODARD (M.). — Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité (*C. R. Acad. Sc.*, 219, 1944, pp. 559-560).
25. HÉNIN (S.) et TURC (L.). — Comparaison entre diverses formules reliant l'écoulement et les précipitations (*C. R. Acad. Sc.*, 221, 1945, pp. 760-762).
26. HÉNIN (S.) et AUBERT (G.). — Relations entre le drainage, la température et l'évolution des sols (*C. R. Acad. Sc.*, 220, 1945, pp. 330-331).
27. HÉNIN (S.). — Précipitations et déficit d'écoulement (*Soc. hydrotechnique France*, 1946).
28. LANG (R.). — Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in Klimatischer und geologischer Hinsicht (*Intern. Mitt. für Bodenkunde*, 1920, Stuttgart).
29. MARTONNE (E. DE). — Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité; (*La Météorologie*, 1926, pp. 449-459).
30. MAURAIN (Ch.). — Étude pratique des rayonnements solaire, atmosphérique et terrestre, 1937, Paris, Gauthier-Villars, éditeur.
31. MAYER (A.). — Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Boden in Europa (*Chemie der Erde*, 2, 1926).
32. MONOD (Th.). — Sur un procédé graphique d'analyse climatique (*Soc. Biogéogr.*, 6, 1938).
33. MONTLAUR (L.). — Relations entre les éléments météorologiques et la croissance d'une lignée pure de blé. Thèse, Paris, 1942.
34. PENMAN (H.-L.). — Laboratory experiments on evaporation from follow soil. (*The Journ. Agri. Sc.*, 31, 1941, pp. 454-465).
35. PERS (R.). — Recherches sur les durées d'insolation 1937. Grenoble. Imprimerie Allier père et fils, éditeur.
36. PLANTEFOL (L.). — Étude biologique de l'Hypnum Friquetrum (*Ann. Sc. nat. Bot.*, 9, 1927).
37. PORTÈRES (R.). — Sur un indice de sécheresse dans les régions tropicales forestières. Indices en Côte d'Ivoire (*Bull. A. O. F.*, 17, 1934, pp. 653-665).
38. PRESCOTT (J.-A.). — Climatic index (*Nature*, 1946, p. 399).
39. PRESCOTT (J.-A.). — The phase and amplitude of Australian mean monthly temperatures (*Trans. Roy. Soc. S. Austr.*, 66, 1, 1942, pp. 46-49).
40. SCAETTA (H.). — Le climat écologique de la dorsale Congo—Nil (*Mém. Inst. Roy. Col. Belge*, 1934, Bruxelles).
41. SELTZER (P.). — Le climat de l'Algérie. *Travaux Inst. Météo et Phys. Globe de l'Algérie*, 1946, Alger.
42. SCHAD (C.), MAYER (R.) et MENERET (G.). — Contribution à l'étude de la qualité du blé (*Ann. Agron.*, 11, 1941, pp. 223-269).
43. SORRE (Max). — Les fondements biologiques de la géographie humaine. Essai d'une écologie de l'homme, 1943, Paris, Armand Colin, éditeur.
44. SUTTON (L.-J.). — Earth and water temperatures in Egypt (*Ministry of Public Works-physical department paper*, n° 52, 1946, Le Caire).
45. TAYLOR (G.). — Geographical factors controlling the settlement of tropical Australia (*Queensland Geogr. Journ.* 32-33, 1918, pp. 1-67).
46. THORNTHWAITE (C.-W.). — The climates of North America according to a new classification (*The Georg. Rev.* 21, 1931).
47. TRANSEAU (E.). — Forest contours of Eastern America (*The Amer. natur.* 39, 1905).
48. TRUMBLE (H.-C.). — Climatic control of agriculture in South Australia (*Trans. Roy. S. Austr.* 61, 1937, pp. 41-62).
49. VERNET (A.) et MARGER (J.). — La variabilité de la pluie dans le Languedoc méditerranéen (*Ann. Agron.* 16, 1946, pp. 329-340).
50. VERNET (A.). — Les pertes d'eau du sol par évaporation dans le Languedoc méditerranéen (*C. R. Acad. Agric.*, 1945, pp. 532-537).
51. ZEDERBAUER (E.). — Beiträge zur Biologie unserer Waldbäume, 3, die Verheilung der wälder (*Centralbl. f. d. Ges. Forstw.*, 43, 1917).

THE MEASUREMENT OF EVAPORATION

By R. K. SCHOFIELD, M. A., Ph. D.

Head Soil Physics Department, Rothamsted Experiment Station.

Experiments in progress at Rothamsted include the measurement of evaporation from :

- (a) a free water surface,
- (b) a bare soil surface kept damp by a water table at 12 cm.,
- (c) soil carrying short cut grass with a water table at 60 cm.

The soils of (b) and (c) are contained in water-tight tanks, each connected at the bottom by a pipe to a covered water-tank so that the water level in the water tank controls the water table in the soil. A record is kept of the water levels, and measured amounts of water are added or removed from time to time to maintain the levels. The evaporating surfaces are flush with the surrounding soil which, carries short cut grass.

Accurate comparisons can be made for periods between occasions when sufficient rain has fallen to cause a rise in the water tables. For such periods there is always a close correspondence between the evaporation from the three surfaces, showing that the same factors operate on all the three. Quantitatively, there are small, but consistent, differences. Thus during summer periods the evaporation from (b) is generally about 10 per cent. greater than from (c).

The records give the difference between rainfall and evaporation for each period. To know the evaporation it is necessary to have an accurate measure of the rain which falls on the areas. Condensation is not separately measured, but makes a negative contribution to the total evaporation of the period.

During the summer of 1946, three areas of soil carrying shortcut grass (c) were compared. One of these received a dressing of ammonium phosphate and consequently gave about three times greater yield of grass cuttings than the other two. The evaporation from the fertilised grass was not, however, measurably different from that from the unfertilised. It is clear that greater growth does not necessarily entail greater transpiration.

It will be of great importance to extend the work to other crops and to study the effect of restricted water-supply on the roots. When tall crops are under investigation, it will be necessary to surround the

plants under measurement by plants of the same kind with the same spacing and growing as nearly as possible under the same conditions. Only in this way will exposure to wind and radiation be normal.

A study of the meteorological factors shows the dominating importance of solar radiation during summer. Temperature, humidity and turbulence of the air are also of importance. Continuous measurements have been made of the temperature of the evaporating surfaces (as nearly as this can be achieved). Dr. H. L. Penman who has charge of this work, has made a study of the energy exchange. He finds a remarkably close agreement between the observed evaporation and that calculated from the energy available for latent heat of vaporisation. He has also studied the processes by which the water vapour is dispersed.

The aim in these studies has been to obtain relationships based on physical reasoning, and satisfactory progress has been made. For this purpose, readings of temperature, humidity and wind taken once a day are insufficient, and continuously recording instruments are being designed and installed. An account of the results to date is in process of publication.

ANALYSE PHYSIQUE DES TERRES CALCAIRES

Par

H. ROSEAU et J. BATS

Professeur

Préparateur

Laboratoire d'Agrologie de l'École Nationale d'Agriculture d'Algérie.

Au cours de l'analyse physique d'une série de terres calcaires suivant la technique DEMOLON-BASTISSE, nous nous sommes trouvés en présence de deux échantillons (1) et (2) dont, malgré toutes les précautions prises, la peptisation de l'argile n'était pas réalisée. Il s'agit là de deux terres provenant d'un même profil, l'un, l'échantillon n° 1 issu de l'horizon 0 m 70, 1 m 50 constitué par un tuf blanchâtre, l'autre l'échantillon n° 2, l'horizon plus profond constitué par une argile gleygène.

Nous avons entrepris la recherche d'un procédé de peptisation convenable de l'argile et appliquant dans les grandes lignes la méthode DEMOLON-BASTISSE, nous l'avons expérimentée sur ces deux échantillons en prenant d'autres liqueurs que le chlorure de potassium déci-normal pour l'extraction du calcium échangeable : le chlorure de sodium N/10 et le sulfate d'ammonium N/10.

Nous nous sommes aussi préoccupés de rechercher si la floculation de l'argile n'était pas due à l'ion Cl, provenant du traitement au KCl N/10, et nous avons donc expérimenté une technique légèrement différente de celle de DEMOLON-BASTISSE, consistant dans l'élimination par lavages du Cl retenu (méthode B).

Nous avons ainsi comparé les quatre méthodes suivantes :

Méthode	Liquueur d'extraction
A.	K Cl $\frac{N}{10}$ non suivi de lavages à l'eau distillée.
B.	K Cl $\frac{N}{10}$ suivi —
C.	Na Cl $\frac{N}{10}$ suivi —
D.	(NH ⁴) ² SO ⁴ $\frac{N}{10}$ suivi —

Lorsqu'il y avait lavages à l'eau distillée (méthodes B, C et D), ces lavages étaient poursuivis jusqu'à l'élimination totale de l'ion Cl (méthodes B et C) ou de l'ion NH⁴ (méthode D) dans les eaux de lavages.

Partant de ces suspensions, nous avons appliqué les deux méthodes d'analyse physique des terres :

I. Méthode internationale ordinaire,

II. Méthode pipette Robinson.

Les résultats sont exprimés dans les tableaux I et II.

A priori, la méthode la meilleure est celle qui fournit le taux d'argile le plus élevé sans qu'il y ait surcharge, ce dont on se rendra compte dans la somme des éléments, cette somme devant être égale ou légèrement inférieure à 100.

L'examen des résultats obtenus, nous conduit aux remarques suivantes :

TABLEAU I.

*Résultats de l'analyse physique de deux terres calcaires.
Pour cent de terre fine séchée à 105° (méthode internationale).*

	TERRE N° 1				TERRE N° 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Argile	17,5	21,6	12,7	11,9	25,5	23,0	26,6	23,8
Calcaire colloïdal	4,5	4,1	5,4	3,8	4,5	7,2	5,5	5,1
Limon { non calcaire. . . .	30,4	25,8	31,0	33,0	27,0	23,0	23,5	19,3
	calcaire.	11,1	11,8	8,5	12,0	18,0	16,6	18,1
Sables fins { siliceux.	21,1	15,9	15,9	15,6	30,4	26,1	25,3	25,9
	calcaires.	6,6	4,6	4,7	5,1	3,5	2,0	1,8
Sables gros { siliceux.	8,1	9,0	9,9	7,5	3,1	2,6	2,6	3,3
	calcaires.	12,5	13,3	15,4	11,7	1,1	0,7	0,7
Humus	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	111,7	106,2	103,6	100,7	113,2	101,3	104,2	100,5
Calcaire au calcimètre. .	34,5	34,5	34,5	34,5	27,3	27,3	27,3	27,3
Total des éléments calcaires trouvés à l'analyse	34,7	33,8	34,0	32,6	27,1	26,5	26,1	28,1

Terre n° 1. — Les méthodes *A* et *B* donnent une somme d'éléments : 111,7 et 106,2, qui témoigne d'une surcharge certaine des éléments. Entre les résultats des méthodes *C* et *D* la méthode *D* semble celle qui doit être retenue, la somme des éléments étant voisine de 100 et le taux d'argile 11,9 n'étant pas très éloigné de la méthode *C* (12,9) qui offre l'inconvénient d'une plus forte surcharge.

Terre n° 2. — Pour les mêmes raisons, la méthode qui paraît conduire aux meilleurs résultats est la méthode *D*.

TABLEAU II.

Résultats de l'analyse physique de deux terres calcaires.
Pour cent de terre fine séchée à 105° (méthode pipette Robinson).

	TERRE N° 1				TERRE N° 2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Argile	16,8	26,2	20,7	27,7	25,2	28,5	29,9	32,0
Calcaire colloïdal	4,5	4,1	5,4	3,8	4,5	7,2	5,5	5,1
Limon { non calcaire.	27,2	17,3	25,7	14,7	18,0	16,4	15,5	12,4
	calcaire.	11,1	11,8	8,5	12,0	18,0	16,6	18,1
Sables fins { siliceux	21,1	15,9	15,9	15,6	30,4	26,1	25,3	25,9
	calcaires.	6,6	4,6	4,7	5,1	3,5	2,0	1,8
Sables gros { siliceux	8,1	9,0	9,9	7,5	3,1	2,6	2,6	3,3
	calcaires.	12,5	13,3	15,4	11,7	1,1	0,7	0,7
Humus.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TOTAUX.	107,0	102,3	104,3	98,2	103,9	100,2	99,5	101,8
Calcaire au calcimètre.	34,5	34,5	34,5	34,5	27,3	27,3	27,3	27,3
Total des éléments calcaires trouvés à l'analyse	34,7	33,8	34,0	32,6	27,1	26,5	26,1	28,1

Terre n° 1. — Ici encore la méthode à retenir est la méthode D. C'est celle qui, avec une somme d'éléments voisine de 100 donne le taux d'argile le plus élevé (27,7).

Terre n° 2. — Notre préférence ira ici soit à la méthode C, soit à la méthode D.

En un mot la méthode qui paraît convenir le mieux à l'analyse de ce type de terres calcaires est celle qui assure la peptisation de l'argile en traitant la terre par lavages au moyen du sulfate d'ammoniaque N/10 et ensuite lavages à l'eau distillée jusqu'à débarrasser le filtrat de toutes traces d'ammonium en suspension.

Mais les chiffres obtenus dans l'application de cette méthode (D) sont différents — quant aux taux d'argile et de limon non calcaire — suivant qu'on utilise la méthode internationale ou la méthode pipette Robinson. Les résultats obtenus sont, en effet, les suivants :

	TERRE N° 1		TERRE N° 2	
	Méthode		Méthode	
	Intern.	Robinson	Intern.	Robinson
Argile	11,9	27,7	23,8	32,0
Limon non calcaire	33,0	14,7	19,3	12,4
TOTAUX	44,9	42,4	43,1	44,4

Que devons-nous conclure de ces chiffres discordants obtenus dans ces deux méthodes?

Nous remarquerons les points suivants :

1^o Le taux d'argile obtenu par la méthode internationale est plus faible que celui obtenu par la méthode pipette Robinson;

2^o La somme des éléments argile et limon non calcaire est constante ou à peu près dans l'une et l'autre méthode.

Il apparaît donc que dans l'une des méthodes — la méthode internationale — une partie de l'argile s'est intégrée dans le lot limon.

Or, ces deux méthodes diffèrent surtout par les hauteurs de chute des particules et par suite, par les temps de sédimentation, au bout desquels le prélèvement du lot d'argile a été effectué.

Dans la méthode internationale le premier siphonnage a été effectué après 16 heures environ, pour une hauteur de sédimentation de 20 cm. Ce siphonnage devait nous donner une partie du taux d'argile, puisqu'il fut suivi de deux autres sédimentations fournissant le complément de ce taux.

Dans la méthode pipette Robinson, l'unique prélèvement devant nous fournir le taux d'argile a été opéré cinq heures et demie après le début de la peptisation à une hauteur de 6 cm, d'après la loi de Stokes.

Si les taux d'argile obtenus sont différents, il faut en chercher l'explication uniquement dans une durée de sédimentation qu'il convient de ne pas dépasser, au delà de laquelle l'argile n'est plus peptisée.

Au delà de cette limite, l'argile est en grande partie floculée. C'est ce qui s'est produit dans la méthode internationale le premier siphonnage ayant été effectué au bout de seize heures, l'argile était en partie floculée. Tandis que dans la méthode Robinson le prélèvement ayant été effectué au bout de cinq heures et demie, la peptisation de l'argile était mieux assurée.

Et le taux d'argile nettement inférieur obtenu dans la méthode internationale, comparativement à celui obtenu dans la méthode Robinson, trouve là son explication.

Il existe donc une limite dans le temps pour la peptisation de l'argile. Au delà de cette limite, de ce seuil, l'argile flocule et cette floculation est brusque.

Dans ces méthodes d'analyse des terres calcaires, — le point important est donc de savoir le temps pendant lequel l'argile reste peptisée — et de ne pas opérer de prélèvement d'argile au delà de cette limite.

Nous proposons donc pour l'analyse des terres calcaires la technique suivante :

Prendre trois échantillons de 20 gr de cette terre. Traiter par lavages sur filtre, trois fois :

- 1^{er} échantillon par $\text{KCl } \frac{\text{N}}{10}$,
 2^e — par $\text{NaCl } \frac{\text{N}}{10}$,
 3^e — par $(\text{NH}_4)^2 \text{SO}_4 \frac{\text{N}}{10}$.

Laver à l'eau distillée jusqu'à élimination des chlorures chez les deux premiers, de l'ammoniaque chez le troisième.

Peptisation par agitation mécanique (une heure) en présence de 40 cm³ d'eau additionnée de 10 cm³ d'une solution normale de citrate de soude.

Abandonner au repos à la même température dans des éprouvettes de même section. Noter le temps pendant lequel se maintient la peptisation.

Ne conserver pour la suite de l'analyse que l'échantillon chez lequel la peptisation de l'argile se maintient le plus longtemps.

Opérer les prélèvements dans un temps qui n'excède pas les limites de durée de peptisation de l'argile en adaptant naturellement, suivant la loi de Stokes la hauteur du prélèvement (ou du siphonnage) au temps conventionnel qu'on s'est ainsi fixé.

Ainsi les seuils de floculation de l'argile des deux échantillons n° 1 et n° 2 examinés sur une hauteur de suspension de 10 cm se sont produits au bout des temps suivants (exprimés en heures et minutes).

MÉTHODES	LIQUEUR D'EXTRACTION DU Ca ÉCHANGEABLE (liqueur N/10)	ÉCHANTILLONS	
		N° 1	N° 2
A	K Cl, non suivi de lavages à l'eau distillée.	1.55	4.45
B	K Cl, suivi de lavage à l'eau distillée. . .	2.05	6.20
C	NaCl, suivi de lavage à l'eau distillée. . .	0.50	1.40
D	(NH ⁴) ² SO ⁴ suivi de lavages à l'eau distillée.	1.25	5.05

Ainsi dans le cas présent pour ces deux échantillons de terre la méthode B (extraction du Ca échangeable par $\text{KCl } \frac{\text{N}}{10}$, suivie de lavages à l'eau distillée pour éliminer l'ion Cl) est celle qui assure la peptisation

de l'argile pendant le temps le plus long. C'est donc à cette méthode pour ces deux échantillons que devra aller notre préférence.

Connaissant d'autre part le seuil de floculation, le prélèvement pour doser l'argile devra être opéré au bout d'un temps de sédimentation inférieur à deux heures cinq minutes pour l'échantillon n° 1 et à six heures vingt pour l'échantillon n° 2.

Méthode	Temps de sédimentation (h)	Temps de floculation (h)	
		Échantillon n° 1	Échantillon n° 2
A	1	1	1
B	2	2	2
C	3	3	3
D	4	4	4
E	5	5	5
F	6	6	6
G	7	7	7
H	8	8	8
I	9	9	9
J	10	10	10
K	11	11	11
L	12	12	12
M	13	13	13
N	14	14	14
O	15	15	15
P	16	16	16
Q	17	17	17
R	18	18	18
S	19	19	19
T	20	20	20
U	21	21	21
V	22	22	22
W	23	23	23
X	24	24	24
Y	25	25	25
Z	26	26	26
AA	27	27	27
AB	28	28	28
AC	29	29	29
AD	30	30	30
AE	31	31	31
AF	32	32	32
AG	33	33	33
AH	34	34	34
AI	35	35	35
AJ	36	36	36
AK	37	37	37
AL	38	38	38
AM	39	39	39
AN	40	40	40
AO	41	41	41
AP	42	42	42
AQ	43	43	43
AR	44	44	44
AS	45	45	45
AT	46	46	46
AU	47	47	47
AV	48	48	48
AW	49	49	49
AX	50	50	50
AY	51	51	51
AZ	52	52	52
BA	53	53	53
BB	54	54	54
BC	55	55	55
BD	56	56	56
BE	57	57	57
BF	58	58	58
BG	59	59	59
BH	60	60	60
BI	61	61	61
BJ	62	62	62
BK	63	63	63
BL	64	64	64
BM	65	65	65
BN	66	66	66
BO	67	67	67
BP	68	68	68
BQ	69	69	69
BR	70	70	70
BS	71	71	71
BT	72	72	72
BU	73	73	73
BV	74	74	74
BW	75	75	75
BX	76	76	76
BY	77	77	77
BZ	78	78	78
CA	79	79	79
CB	80	80	80
CC	81	81	81
CD	82	82	82
CE	83	83	83
CF	84	84	84
CG	85	85	85
CH	86	86	86
CI	87	87	87
CJ	88	88	88
CK	89	89	89
CL	90	90	90
CM	91	91	91
CN	92	92	92
CO	93	93	93
CP	94	94	94
CQ	95	95	95
CR	96	96	96
CS	97	97	97
CT	98	98	98
CU	99	99	99
CV	100	100	100

CURRENT PROBLEMS IN SOIL CULTIVATION

Par E. W. RUSSELL.

Rothamsted Experiment Station, Harpenden, Herts.

Soil cultivation problems have come into prominence in many parts of the world for two distinct reasons. In the temperate regions of the world, such as Western Europe, the main problems are raised by the substitution of tractors for horses and oxen as the main source of power on the farm, and of steel for wood and iron in implements. Here the problem is one of developing a new cultivation technique within the framework of an agricultural system known to be adapted to the region in which it is practised. So far the main development has been largely one of simple substitution without any great modification in designs of implement or technique of cultivation, and the main problems to be solved are whether this is the proper way of using steel and tractors.

Soil cultivation problems of quite another kind arise when new crops or techniques are introduced into the tropics or sub-tropics; for here whatever traditional system of agriculture may exist, they are entirely ignored by the introducers of the new system. This is the position that exists on most of the areas in which tropical and subtropical crops are grown on the plantation scale.

Cultivation problems fall into two main groups :

- (a) Preparing the land for a crop;
- (b) Cultivating land carrying a crop.

The experimental results I will be discussing have mainly been obtained in England. The main objects of cultivation here, which is typical of many humid temperate climates, may be killing weeds, distributing plant nutrients throughout the soil, and loosening the soil so increasing the rate of drainage of water or the aeration of the soil. Let me give examples of the type of problem that we have been dealing with.

The first question concerns the rôle of the mouldboard plough. This implement has formed the basis of cultivation operations before planting for many centuries in North-Western Europe, and yet has never been widely adopted in typical Mediterranean countries. The mouldboard plough was designed for oxen, and is now used with tractors,

and the question of its exact rôle is of great importance. As a result of a series of experiments at Rothamsted, we have come to the conclusion that its characteristic property, which is shared by no other implement yet in use, is its power of killing weeds in damp cool weather. There appears to be no advantage in using a plough over many other cultivation implements if the land is free from weeds; and in fact if the soil is well supplied with nutrients and fairly free from weeds, one has great latitude in the cultivation operations needed for a good crop.

The second question concerns the depth to which one should plough or cultivate, and is of great interest in England at the present time. There are a number of very enterprising and successful farmers in parts of the country who are ploughing to between 30 and 50 cms. deep, and are quite certain that much of their success as farmers is due to this deep ploughing. On the other hand the few experiments made in England, the U. S. A. and Sweden all point to the conclusion that crop yields are not normally very sensitive to depth of ploughing, and we have now in progress a large series of experiments to try and find out why there is this apparent discrepancy between successful practice and experiment.

Deep ploughing or deep cultivation improves the drainage on heavy soils or soils with pronounced pans, provided the water that enters the subsoil can get away. Deep ploughing has two additional effects: it eases the problem of the control of many but not all weeds, a very useful asset at a time when skilled ploughmen are becoming scarce; and it enables lime, fertilizer or manure to be incorporated to a much greater depth than is usually possible. The relative importance of these effects is not yet known, but American experience indicates that deepening the layer of fertile soil can help crops to withstand short droughts. The reason for this is that plant roots will penetrate deep into the subsoil if the conditions are favourable, and will extract water from it. But if the subsoil has a low fertility, the roots may not be able to extract nutrients from it fast enough for the crop requirements. Now plant roots cannot extract nutrients at an adequate rate from a dry soil, so that if all the plant nutrients are concentrated in the surface layers, which dries out rapidly after the onset of a drought, they will soon become unavailable to the crop. On such a soil the first effect of a drought is thus to cause the plants to suffer from a nutrient rather than a water shortage. Deepening the soil layer with which the plant nutrients are incorporated, or incorporating plant nutrients in the deeper soil layers, will allow the roots to take up these added nutrients for a longer time, because the subsoil dries out more slowly than the surface soil. Hence provided the drought is not so severe that the subsoil ceases to be able to supply the water needed by the crop, deepening

the zone of fertilizer placement can give a definite improvement in crop production in dry years.

A further example of the benefit of deep ploughing arises when the subsoil is very acid. Ploughing in calcium carbonate down to 40-50 cms., and giving an adequate dressing to the surface after ploughing, will enable the roots of many plants to penetrate to this depth and hence to tap a much larger reservoir of water than if they were confined to the top 15-20 cms., which they would be if the calcium carbonate was only worked into the surface soil.

Mouldboard ploughing is thus seen to be a very desirable operation under certain conditions in England. But it has a great limitation which should prevent its use in several parts of the world : it leaves a bare unprotected soil surface very liable to erosion.

The second group of cultivation problems concern the reasons for cultivating the soil in a growing crop. One function of these cultivations is to kill weeds, and this is most important when the crop is young. It need not always be done by cultivation, as some of the new weed killers are very effective under suitable conditions.

The real controversy that surrounds the cultivation of the soil around a growing crop concerns the rôle of the loose soil mulch that can be obtained by hoeing. Hoeing kills weeds, and in fact is still much the easiest way of killing them if they have developed in the crop. But hoeing, by creating a loose soil surface, has been claimed to conserve water by cutting down evaporation losses, and to increase the production of nitrates and the rate at which water can enter the soil.

This theory of the value of the loose soil surface has been tested in many hundreds of experiments all over the world, but particularly in the semi-arid parts of the United States. The experiments typically consist in comparing the yield of a crop when it is regularly hoed with when the soil surface is only scraped with a sharp blade — an operation that kills many weeds but produces no dust mulch. The results of such experiments have been entirely consistent, wherever they have been done, and they have shown that the crop does not appear to derive any measurable benefit from the dust mulch.

Three comments must be made on this result. In the first place the results only refer to a surface mulch prepared by hoeing the soil surface, they do not refer to vegetable or trash mulches put on the surface of the soil, such as a layer of straw, dead grass, or even paper.

In the second place a loose surface sometimes increases the speed with which water will penetrate into the soil, as for example when the soil is being irrigated by flood irrigation. The loose bare surface will not necessarily allow rain to penetrate any quicker, for if the rain falls in a heavy storm, the raindrops will very soon shatter all the surface

crumbs and the muddy water will seal all the larger pores, and this will happen whether the soil surface has been hoed or not. On the other hand gentle rain will penetrate either surface equally easily, so it is only for short duration rains of moderate intensity that any benefit of the dust mulch might be found.

In the third place hoeing has a harmful effect on some crops because it disturbs any surface feeding roots that may be there, and not all crops can stand such treatment.

So far the discussion has been largely confined to the cultivation problems of the temperate zone, but there are two zones of very difficult problems : the semi-arid sub-tropics and the humid tropics. In both regions the problems involve soil conservation, whilst in the former they also involve conservation of water and in the latter of nutrients. Now the essence of erosion control in both these regions is to keep the soil surface covered with vegetation. In the semi-arid region this involves keeping the surface covered during periods when it is too dry for any crop to grow, and water conservation involves keeping the land as free as possible from weeds. Methods of weed control without having a bare soil surface are being developed by the use of cultivators fitted with special blades, and other new types of weederes that work under the soil surface and which disturb the surface as little as possible. The techniques being developed are coming known as trash or stubble mulch farming, and the main cultivation principles underlying the new techniques have probably been discovered provided they are not found to have any undesirable biological consequences, such as harbouring insect or fungus pests.

The problems in the humid tropical regions are much more difficult and involve controlling weeds and getting a seedbed without leaving the soil bare and unprotected. Suitable techniques for doing this have not yet been developed, but it already appears that under these humid conditions weed control can probably not be obtained through cultivation alone, as is possible in the semi-arid regions. It will probably have to be brought about, in part, by biological means, and thus will involve us having a detailed knowledge of the life history of the weed and the effect of environment on its vitality.

LA FORMATION DES ARGILES ET LA PÉDOLOGIE

Par S. HÉNIN.

(Laboratoire des sols, Versailles.)

Il est maintenant bien établi que les argiles des sols qui étaient considérées comme des substances amorphes sont de nature cryptocristalline, ce qui permet de les classer d'après leur structure et de les étudier à l'aide de rayons X. C'est là un fait qui pose un nouveau problème à la pédologie. En effet, ou bien à un type de sol donné correspond un type d'argile, ou bien il faudra subdiviser les types de sol actuellement existants en fonction de la nature de l'argile qu'ils renferment.

Dans cet exposé, nous rappellerons brièvement les différentes familles de minéraux argileux actuellement définies et leurs propriétés, ce qui nous montrera dans quelle mesure la nature de l'argile peut conférer au sol des propriétés particulières. En considérant les études de synthèse réalisées jusqu'à maintenant, nous nous efforcerons d'en tirer des règles applicables à la formation et à l'évolution de ces minéraux dans la nature et nous essaierons de les appliquer aux observations concernant la répartition des types d'argiles dans les types de sol. Enfin, muni de ces renseignements nous essaierons de répondre à la question que nous venons de poser.

I. — LES MINÉRAUX ARGILEUX.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il est difficile de conserver la terminologie classique concernant les argiles. Nous diviserons donc les minéraux rencontrés dans la fraction inférieure à $2\ \mu$ et qui constituent ce que nous appelons l'argile au sens agronomique, en trois groupes qui correspondent, selon nous, à des propriétés structurales voisines et à un comportement physico-chimique assez analogue.

Nous distinguerons deux types phylliteux : l'un caractérisé par une équidistance principale de $7\ \text{\AA}$ 0 comprend les kaolinites, antigorites, méta-halloysites et par extension l'halloysite. Nous plaçons ce dernier minéral dans cette famille, bien qu'il se présente avec une équidistance de $10\ \text{\AA}$ parce que celle-ci est due à l'interposition d'une couche d'eau entre les feuillets de la kaolinite et que cette couche d'eau particulièrement labile s'échappe en donnant naissance à un minéral à $7\ \text{\AA}$ la méta-halloysite. De plus cette transformation semble irréversible.

Le second groupe phylliteux est constitué par des silicates comportant essentiellement un feuillet de mica qui, lorsqu'il est seul, donne des illites. Quand les feuillets sont séparés par une couche d'hydroxyde on obtient des vermiculites et des chlorites et quand enfin ils sont séparés par des couches d'eau, on obtient le groupe de la montmorillonite-nontronite.

Dans les minéraux fibreux, nous trouvons deux types, les palygorskites-attapulgites qui possèdent une structure relativement stable et les sépiolites dont l'équidistance est différente et dont la structure semble très fragile.

Si nous comparons les propriétés physico-chimiques de ces minéraux et leur structure regroupés dans le tableau I nous pouvons dégager les quelques relations suivantes. Les minéraux du premier groupe possèdent une capacité d'échange de bases peu élevée, une petite quantité d'eau d'hydratation et une faible capacité à former les agrégats; c'est ce que nous avons appelé valeur ciment. D'autre part, la teneur en potassium échangeable est faible. Un seul minéral fait exception, dans une certaine mesure, c'est l'halloysite qui possède une capacité d'échange de bases moyenne et une hydratation relativement élevée.

TABLEAU 1.

Nota. — Les caractéristiques figurant dans ce tableau ont été tirées de divers travaux et n'ont donc pas été déterminées sur le même échantillon.

PHYLLITES A 7 Å	FORMULES chimiques	CAPACITÉ échange base	TENEUR K ² O %	HYDRATA- TION H ² O + %	VALEUR ciment	ALTÉRA- BILITÉ en milieu acide
Antigorite	2 SiO ² , 3 MgO 2 H ² O	? (faible)		1 %	<i>t m</i>	Élevée.
Kaolinite	2 SiO ² , Al ² O ³ , 2 H ² O	7-15		1 %	<i>t m</i>	Faible.
Métahalloysite 10 Å	2 SiO ² , Al ² O ³ , 2 H ² O	7-15		1 %	<i>t m</i>	
Halloysite	2 SiO ² , Al ² O ³ , 2 H ² O	15-40		10 %	—	Assez élevée.
Phyllites à 10-14 Å						
Illite	4 (Si, Al)O ² , Al ² O ³ , <i>n</i> H ² O	20-40	4 à 6	1 à 2 %	?	Moyenne.
Vermiculite	4 (Si, Al)O ² , 3 MgO, H ² O	90	0 à 5,86 %	8 à 10 %	?	Moyenne.
Chlorite.	8 SiO ² , 3 Al ² O ³ , 13 MgO, 11 H ² O	25,3	0,10 à 1	0,10 à 1 %	<i>t m</i>	Moyenne.
Montmorillo- nite.	4 SiO ² , (Mg ² , Al ²)O ³ H ² O	80-120	0,10 0,50	17 %	<i>b</i>	Moyenne.
Nontronite	4 SiO ² , (Al, Fe) ² O ³ , H ² O	60-100	0,20	10 %	<i>b</i>	Assez élevée.
Minéraux fibreux						
Sépiolite	3 SiO ² , 2 MgO, 2 H ² O	Moyenne?	—	10 à 12 %	?	Élevée.
Palygorskite	8 SiO ² , 5 MgO, 9 H ² O	20-50	0,4 à 5	6 à 8 %	<i>m</i> ?	Faible.

Parmi les minéraux du groupe à 10-14 Å, ceux qui ne possèdent pas d'eau entre leurs feuillets ont une capacité d'échange de bases moyenne et les autres une capacité d'échange de bases élevée. Ces derniers ont également un bon pouvoir ciment. L'hydratation est supérieure à celle des deux groupes précédents et ces minéraux ont une teneur en potassium qui peut être assez élevée, principalement pour les illites et les vermiculites.

Quant au groupe des minéraux fibreux, la capacité d'échange de bases est moyenne, l'hydratation assez importante, la teneur en potassium peut être notable et la valeur ciment semble varier de faible à moyenne.

L'altérabilité de ces minéraux en milieu acide dépend de deux facteurs. Tout d'abord la composition chimique, les silicates riches en fer et plus encore en magnésium sont très altérables; les minéraux alumineux le sont peu. Par ailleurs pour des compositions chimiques voisines, l'altérabilité dépend de la structure, plus celle-ci est ouverte plus le minéral est sensible. Cette dernière propriété comporte une conséquence pédologique importante, c'est que nous ne devons pas nous attendre à rencontrer dans les sols fortement acides, les minéraux facilement altérables. Leur présence peut être un indice de la jeunesse du sol. Par ailleurs, d'autres propriétés peuvent être liées à la structure, telle que la rétrogradation des bases échangeables ou la difficulté d'obtenir un équilibre d'échange de bases. En particulier les minéraux de la famille des palygorskites dont la structure, d'après Bradley, possède des trous analogues à ceux des zéolites pourrait avoir un comportement analogue vis-à-vis des bases échangeables et l'on retrouverait pour ce groupe les résultats obtenus par K. WIEGNER, PALLMAN et leur école. Notons également que ces minéraux semblent avoir une certaine spécificité pour la fixation de l'anion phosphorique. On constate donc que si le type pédologique est défini par la répartition des éléments dans le profil, par contre les propriétés de chaque horizon qui dépendent aussi de leur teneur en colloïdes doivent se trouver influencées par la nature de ceux-ci.

Le tableau que nous avons présenté constitue un exemple et ne vise pas à être complet. On a également reconnu dans les sols la présence de minéraux broyés mais ayant conservé leur structure. Il existe souvent des proportions très considérables d'hydrate de fer et d'alumine dont les propriétés peuvent caractériser le type de sol, telle qu'une fixation énergique de l'acide phosphorique ou la formation d'une sorte de sable secondaire par liaison des éléments minéraux préexistants, c'est le cas des latérites. Enfin, il existe certainement des permutites de néoformation, voisines des produits étudiés par REIFENBERG, MATTSON, DEMOLON et BASTISSE, des hydrates non cristallisés, etc...

II. — CONDITIONS DE FORMATION DES ARGILES.

Il est maintenant bien établi que les argiles peuvent se former dans les conditions de température et de pression ordinaires. Nous avons même deux expériences dans lesquelles il est possible de dater les argiles. Ainsi dans les cases lysimétriques de Versailles, renfermant du granite,

on a pu observer que cette roche qui, au départ, était constituée par des grains d'une dimension supérieure à 2 mm, renferme après dix ans 2 % d'éléments inférieurs à 2 μ et que ces éléments sont en partie constitués par de l'illite qui paraît provenir de l'altération des feldspaths. D'autre part, nous avons pu recueillir à Madagascar, dans des déchets de mica situés aux alentours d'un gisement dont l'exploitation avait cessé depuis dix ans, des fragments de minéral altéré qui ont donné de la kaolinite. Ainsi, dans ces deux cas, en une dizaine d'années et sous la seule influence des facteurs climatiques, des minéraux bien définis ont pu donner naissance à une petite quantité d'argile.

Deux hypothèses peuvent être formulées pour expliquer la formation d'une argile.

On peut tout d'abord supposer que la structure de l'argile reflète celle du minéral initial. Mais si une telle hypothèse est admissible quand on part de pyroxène, d'amphibole, de mica, par contre il est assez difficile de concevoir une telle formation en partant de feldspaths, de zéolite, de péridot et d'autres minéraux dont la structure résulte d'un arrangement spacial de tétraèdre SiO_4 . On ne peut, en effet, concevoir géométriquement la transposition de tels édifices à une structure type argile, sans admettre une modification dans les liaisons, ce qui implique la dislocation de la structure et une recombinaison de ses éléments.

D'ailleurs le tableau suivant donnera une idée des relations existant entre les minéraux argileux trouvés en gites importants par les géologues et les minéralogistes, et les matériaux qui leur ont donné naissance.

Substances initiales.	Produits d'altération.
Feldspaths.	Kaolinite, séricite, illite.
Mica.	Chlorite, illite, vermiculite, sépiolite, kaolinite.
Péridot.	Antigorite.
Antigorite	Sépiolite.
Verres volcaniques.	Montmorillonite, nontronite.

Ce tableau montre que des minéraux ayant des structures éloignées de celles des argiles sont cependant susceptibles de se transformer en de telles substances et ceci paraît infirmer la première hypothèse.

On est alors amené à supposer que les argiles se forment à partir d'éléments provenant d'une dislocation très poussée de la structure du minéral initial. Mais alors on se heurte à diverses difficultés, car si

nous imaginons l'existence d'un mélange de silice amorphe et d'alumine, comme premier stade de la transformation des minéraux originels, il faudra établir quels sont les facteurs physico-chimiques qui permettent la formation de minéraux cristallisés en partant de ces substances. Or, on sait qu'il s'agit de corps relativement inertes et le minéralogiste, s'il voit fréquemment une substance passer de l'état colloïdal à l'état cristallin, voit moins fréquemment cette transformation s'opérer avec la formation d'un corps de composition chimique différente : en particulier, quand il s'agit d'un produit silicaté.

Nous allons examiner les divers résultats obtenus jusqu'à ce jour concernant la formation et l'évolution des minéraux de manière à établir dans quelle mesure l'une ou l'autre de ces hypothèses correspond à la réalité.

Essai de synthèse à haute température.

Une série de travaux réalisés pendant ces vingt dernières années ont permis d'obtenir des argiles en partant de gels de silice et d'alumine portés vers 300° ou 400° en présence de solution salines. Les résultats peuvent être résumés dans le tableau suivant :

RÉACTION DE LA SOLUTION				
Acide	Alcaline			
Kaolinite.	Montmorillonite	Mg	} ions présents.	
	Zéolite.	Na		
Muscovite.	Séricite.	K		

Notons tout d'abord que ce résultat se produit quelle que soit la proportion de silice ou d'alumine dans le milieu. La substance en excès par rapport à la composition chimique du minéral obtenu, se retrouve à l'état amorphe ou cristallisée sous forme d'hydrate. Le fait essentiel, c'est que ce sont des conditions de pH et les ions présents dans le milieu qui imposent le résultat. De nombreux auteurs ont pu répéter ces expériences et il a été possible d'obtenir, outre les différents minéraux énumérés, des antigorites magnésiennes et nickelifères. Un autre point essentiel, c'est que ces synthèses ont été réalisées à une température relativement élevée, de 200° à 300° pour les antigorites et de 300° à 400° pour les autres minéraux argileux.

Si l'on part maintenant de minéraux, il est également possible de les transformer en argile dans diverses conditions en particulier à

une température de l'ordre de 300° en présence d'eau, et de réactifs chimiques, tels que CO² ou diverses solutions salines.

Les résultats tirés des travaux de NORTON, donnent une idée des faits établis, mais si l'on compare ces résultats avec ceux du tableau précédent, on constate qu'il ne semble pas y avoir de relation entre la nature des minéraux formés et la composition, en particulier en bases alcalines et alcalino-terreuses, du minéral originel. Il y a donc, en quelque sorte, contradiction au moins en apparence. Cependant, il faut noter que NORTON a opéré en présence de CO² et il est possible que l'absence de concordance entre les données de NORTON et celles de NOLL soit due à des différences dans l'activité des électrolytes en solution. En effet, dans le tableau suivant, tiré d'un travail de GRUNER où la transformation s'est effectuée en présence d'électrolyte tel que KCl, on s'aperçoit que le résultat obtenu dépend bien des conditions de milieu comme dans le travail de NOLL.

TABLEAU II.

MINÉRAUX	GR KCl	ACIDITÉ initiale	ACIDITÉ finale	TEMPS en j.	SiO ² en sol.	PRODUITS obtenus
Muscovite	Néant	N/O,103	n. d.	10	n. d.	Muscovite. + Kaolinite.
Muscovite	Néant	0,350	n. d.	8	n. d.	Kaolinite.
Muscovite	Néant	0,175	0,138	10		Kaolinite.
Muscovite	3	0,350	0,264	8		Muscovite.
Muscovite	1	0,350	n. d.	8		Muscovite.
Muscovite	0,5	0,175	0,138	10		Muscovite.
Muscovite	0,5	0,350	0,269	8		Muscovite.
Muscovite	0,25	0,175	n. d.	14	n. d.	Muscovite.
Kaolinite	5	0,103	0,085	10		Kaolinite.
Kaolinite	5	0,050	0,042	15		Kaolinite + boehmite.

Ce travail apporte une information complémentaire, c'est que la formation d'un minéral déterminé correspond à des conditions physico-chimiques assez précises et, par ailleurs, NORTON a également établi que la nature du minéral formé dépendait des conditions de pression et de température.

Ainsi ces travaux nous permettent bien de définir les conditions

physico-chimiques présidant à la formation de tel ou tel type de minéral, mais il semble par ailleurs que ces résultats ne soient valables que pour la gamme de température et de pression dans lesquelles ils ont été établis. Dans ces conditions, une extrapolation au milieu naturel ne paraît pas permise. Cependant, nous verrons que les conditions physico-chimiques, en particulier l'alcalinité et la nature des cations présents semblent bien être celles qui régissent la formation de ces mêmes corps dans les sols.

Synthèse et évolution des minéraux à basse température.

Quelle que soit la valeur des conclusions tirées de l'étude précédente, il est nécessaire pour que la démonstration soit complète, que l'on puisse répéter des expériences analogues dans les conditions de température et de pression du milieu ordinaire. Nous considérerons successivement le résultat de l'attaque des minéraux par des solutions alcalines ou basiques, puis par des agents moins énergiques.

Les travaux de CORRENS montrent que l'attaque d'un feldspath conduit aux résultats suivants : en milieu fortement alcalin, la dissolution est assez rapide et des quantités équivalentes de silice et d'alumine sont dissoutes. Au contraire, au voisinage de la neutralité, l'attaque est lente et il se dissout deux fois plus de silice que d'alumine. Enfin, en milieu acide, l'altération est à nouveau rapide, mais il se dissout principalement de l'alumine. D'une façon générale d'ailleurs, on sait qu'en milieu acide les éléments alcalino-terreux et le fer, constituant les minéraux, passent rapidement en solution. Ces résultats sont confirmés, en particulier par les travaux de Roborgh qui, opérant en milieu acide sur des feldspaths, des micas, de l'amphibole et une zéolite, a montré que dans tous les cas il se dissolvait plus de sesquioxydes que de silice. On pourrait donc conclure de ces essais qu'en milieu acide, la silice tendrait à s'accumuler dans le milieu, alors qu'en milieu alcalin, la silice et les sesquioxydes seraient entraînés dans les mêmes proportions.

Si nous considérons maintenant la formation de complexes colloïdaux entre la silice d'une part, l'alumine et le fer d'autre part (MATTSON, DEMOLON et BASTISSE), on constate également que le rapport silice-sesquioxydes des produits synthétiques, croît à mesure que le milieu devient plus acide, ce qui est normal puisque le caractère électro-positif du sesquioxyde s'affirme à mesure que le pH diminue.

Il n'en reste pas moins que ces deux séries d'expériences sont en opposition avec les synthèses à haute température, puisque d'après les expériences à froid, les corps les plus riches en silice, donc du type montmorillonitique, devraient apparaître en milieu acide, et les kaolinites en milieu alcalin, alors que nous avons vu qu'à haute température l'in-

verse se produit. Par ailleurs, nous savons également que dans le milieu naturel, ce sont dans les sols les plus acides que l'on trouve les kaolins et dans les sols neutres ou alcalins qu'apparaît la montmorillonite.

Il nous semble que la seule façon de lever cette contradiction c'est de considérer que le minéral ne constitue pas le résidu d'une attaque ou d'une précipitation désordonnée, mais est le fait d'une cristallisation dont les conditions sont définies par la solubilité de la silice. Dans ces conditions, plus il y aura de silice dans la solution du sol et plus le minéral aura tendance à être riche en silice. Ce point de vue permettrait de faire concorder les deux séries d'observations. Par ailleurs, il semble que nous retrouvions ainsi le principe de VON WEIMARN qui indique que les cristaux ne peuvent se former à partir d'une solution que si la solubilité des constituants dans le milieu est suffisante.

Si nous considérons maintenant le résultat du traitement ménagé de diverses argiles dans les solutions salines, nous constatons qu'il semble possible de transformer une montmorillonite en kaolinite par divers traitements, que l'on peut, par précipitation de magnésium en milieu alcalin, passer de la montmorillonite à la vermiculite et qu'enfin la vermiculite se transforme en mica par traitement à ébullition en présence d'eau oxygénée et d'ammoniaque.

On voit donc que la première hypothèse formulée est valable dans une certaine mesure et qu'en particulier il est relativement facile de passer de l'un à l'autre des différents membres de la famille des phyllites à 10-14 Å. Les résultats expérimentaux ne faisant d'ailleurs que confirmer les nombreuses observations des minéralogistes. Par contre, le passage d'une phyllite à 10 Å à une phyllite à 7 Å pose un problème beaucoup plus important car il s'agit là d'une altération d'un élément essentiel du cristal. On peut donc conclure que par altération un minéral peut donner naissance à un second dont la structure se trouve déjà ébauchée dans celle du minéral originel. Et ce fait nous conduit à formuler une autre hypothèse que l'on pourrait étendre à la formation d'argile à partir de produits en solution, c'est que l'argile cristallise au voisinage d'un cristal déjà formé ou, en d'autres termes, se forme à la suite d'une sorte d'épigénie.

Il y a certaines difficultés à admettre cette idée, par exemple on concevrait bien la formation du minéral argileux par fixation de silice autour d'une micelle d'hydrargillite, mais il faut admettre que l'hydrargillite est de formation récente. Or les travaux concernant les hydrates d'alumine nous montrent que l'hydrargillite ne se forme immédiatement qu'en milieu relativement alcalin. Si l'on admet que ce minéral se forme par vieillissement à froid, il se présente alors sous forme de cristaux et l'on conçoit mal, étant donnée la faible activité physico-chimique de la silice, que celle-ci puisse disloquer le cristal d'hydrar-

gillite pour venir se fixer sur les différents plans et constituer une argile.

Cependant, des résultats dus à MATHIEU et à ses collaborateurs nous apportent un autre aspect de cette possibilité. Ces auteurs ont montré, en effet, que l'attaque en milieu acide de la montmorillonite tend à vider ce minéral de ses éléments magnésien, ferrugineux et alumineux. Cependant, au cours de leurs expériences, ils ont constaté qu'à un certain stade d'altération, les éléments extraits des cristaux pouvaient y retourner. Enfin, leurs travaux montrent également que les feuillets de tétraèdre SiO_4 résistent longtemps à l'attaque acide. Par ailleurs on peut admettre la présence de tels éléments dans le milieu naturel et ils pourraient être à l'origine de la néo-formation des argiles, à condition cette fois que ce soient les éléments alcalins, alcalino-terreux et les sesquioxydes qui viennent se fixer sur ces feuillets.

Enfin partant de l'idée que la présence d'un élément d'organisation était nécessaire pour assurer la formation d'éléments cristallins, nous avons pu, M^{lle} CAILLÈRE et moi, réaliser la synthèse de quelques minéraux argileux en utilisant l'électrolyse. C'est ainsi qu'en électrolysant une solution de silicate sur une électrode Mg, il s'est formé de l'antigorite. L'électrolyse de solutions d'aluminate a donné de la boehmite avec une électrode d'aluminium et un aluminat avec une électrode de magnésium. Malheureusement, en électrolysant le silicate sur une électrode d'alumine, il n'a pas été possible de mettre en évidence, d'une façon suffisante, la présence de kaolin.

Quoi qu'il en soit, le fait que ces substances aient donné à l'examen aux rayons X des diagrammes souvent équivalents en qualité à ceux obtenus avec les produits naturels, souligne le fait qu'il est nécessaire dans tous ces phénomènes que l'apparition du nouveau minéral se produise à partir d'un élément lui permettant de cristalliser.

On voit que malgré un nombre d'essais déjà très considérables, les résultats obtenus ne permettent que de formuler des hypothèses de travail et qu'on ne peut conclure en faveur d'une théorie générale qui rattache d'une façon logique la formation des argiles à celle des sols. Nous passerons maintenant à l'étude de la distribution des types d'argile dans les sols.

Il ressort de diverses observations que dans les sols podzoliques et dans les latérites il se forme de la kaolinite. Cependant, on rencontre également dans les premiers un peu d'illite et peut être de l'attapulгите. Ainsi en milieu lessivé et acide il tend à se former du kaolin comme dans le cas des synthèses à hautes températures. Remarquons cependant, que le pH actuel dans le sol n'est pas celui qui a régné pendant tout le temps de son évolution. Ainsi, au début de l'altération d'une roche granitique le pH des eaux de drainage peut être alcalin, alors qu'en

France, de telles roches mères tendent à donner des podzols; par conséquent des sols acides. On peut donc se demander si l'argile se constitue en présence d'un minéral formé au début ou à la fin de l'évolution. On voit combien il est difficile de rattacher aux types de sols les conditions spécifiques qui régiraient la formation d'un type d'argile.

Les sols bruns forestiers français, les sols rouges méditerranéens contiennent également les mélanges de kaolinite, d'illite et peut-être d'attapulгите.

Les tchernoziems et les sols désertiques contiennent une forte proportion de montmorillonite mais associée à de la kaolinite ou à de l'illite.

Il semble en être de même pour les sols alcalins avec peut être une proportion d'illite un peu supérieure.

Quelques auteurs ont signalé dans des sols plus ou moins définis au point de vue pédologique des chlorites, des vermiculites et même des antigorites.

Des premiers inventaires actuellement établis, SEDLETZSKY avait tiré la conclusion suivante : c'est que le caractère de l'argile n'est pas déterminé par la roche mère mais par le caractère du processus d'altération. Cette règle semble surtout bien vérifiée dans certains cas particuliers, par exemple : MUIR et ses collaborateurs, et diverses observations citées par EDELMAN montrent que, sous climat tropical, on trouve des latérites sur les parties lessivées par suite de leur disposition topographique, tels que sommet et pentes de collines alors que, au contraire, on trouve des montmorillonites dans les bas-fonds. Cependant, une telle règle a besoin d'être revue, car le fait de trouver en mélange des minéraux du type 10-14 Å n'a pas du tout la même signification que de les trouver mélangés avec des éléments de la série à 7 Å.

D'autre part, les divers résultats que nous avons signalés concernant l'évolution des types d'argiles montrent qu'il est possible sous l'influence d'une variation de l'état du milieu de passer d'un type d'argile à un autre.

Dans ces conditions, il ne semble pas, à l'heure actuelle, et malgré les quelques corrélations qui se sont dégagées, que l'on puisse rattacher un type d'argile à un type de sol déterminé et que bien au contraire, il serait nécessaire d'utiliser la nature de l'argile comme un caractère permettant d'établir des sous-groupes dans les types actuellement définis.

Ouvrages à consulter.

- S. CAILLÈRE. — Thèse, Bull. Soc. Fr. Min. 1936.
 CORRENS et von W. ENGELHARDT. — Chem. d. Erde, t. 12, p. 1-22.
 E.-S. DANA. — Text book of Mineralogy. Willey and Sons N. Y. 1932.
 A. DEMOLON et E.-M. BASTISSE. — Ann. Agron. 1934, p. 53-76.

- C.-H. EDELMAN. — *Rev. Bot. appliquée*, 1946, p. 33.
G.-W. GRUNER. — *Amer. Min.* 1939, 24, p. 624-628.
G.-W. GRUNER. — *Amer. Min.* 1941, 26.
S.-B. HENDRICKS, W.-H. FRY. — *Soil Sc.* 1930, t. 29, p. 459-479.
W.-P. KELLEY, W.-H. DORE et S.-M. BROWN. — *Soil Sc.* 1931, t. 31, p. 25-55.
A. LACROIX. — *Minéralogie de la France et de ses colonies*, Paris. *Ann. Géologie du Service des Mines.* 1941, fasc. XI, Tananarive.
H. LONGCHAMBON. — *Recueil des communications du Congrès technique des Industries Céramiques*, Paris (1938).
M. MATHIEU et ses Collaborateurs. — *Mémorial des services chimiques de l'État*, Paris, 1945.
S. MATTSON. — *Soil Sc.* 1931, t. 31, p. 57.
G. NAGELSCHMITT. — *Techn. Com.* 42. *Imp. Bureau of Soil Sc. Rothamsted.*, 1944.
G. NAGELSCHMITT, A.-D. DESAI et A. MUIR. — *Journ. of Agr. Sc.* 1940, t. 30, p. 639.
W. NOLL. — *Min. Pet. Mitt.* 1936, t. 48, p. 210-247.
F.-H. NORTON. — *Ann. Min.* 1939, t. 24, pl. 1-17 et 1941, t. 26, p. 1-17.
J. ORCEL. — *Thèse, Bull. Soc. Fr. Minéralogie*, 1927.
R.-H. ROBORGH. — *A study of the Nature of Clay. Veenman et Zonen Wageningen*, 1935.
I.-D. SEDLETZKY. — *C. R. Ac. Sc. U. R. S. S.* 1941, vol. 32, p. 435-438.

ON THE ORIGIN OF SOME CLAY MINERALS IN SOILS

By C. H. EDELMAN and A.-C. SCHUFFELEN.

(Wageningen, Netherlands).

Recently Kelley remarked that the literature on the occurrence and the formation of clay minerals in soils still shows many conflicting data. Most authors claim that kaolinite is formed under acid conditions and montmorillonite in neutral or alkaline media, but acid clays containing montmorillonite are not rare and kaolinite is also found in alkaline soils.

In our opinion this confusion is caused by the fact that clay minerals not always have been formed in the soils in which they are found. In the first place this restriction holds for the alluvial soils, many of which contained large quantities of colloidal material in the form of clay minerals at the moment of their deposition. Also residual soils formed from sedimentary rocks often contain clay minerals that originally formed part of the sedimentary rocks.

We are not able to discuss the numerous localities, mentioned by Kelley, in such a way that we could distinguish between soils the clay minerals of which are original or not, but it looks as if many investigations giving conflicting evidence have relation to alluvial soils or soils developed from sedimentary rocks.

The clays from the Netherlands with nearly all clays from Western Europe belong to this category and the situation in the U. S. A. is similar. By no means we pretend, that soil forming processes did not influence the colloidal material in soils formed from sedimentary material, but interpreting the occurrence of certain clay minerals in such soils must lead to doubtful conclusions regarding the origin of clay minerals in general.

More favourable conditions Hardon and Favejee found on Java. On this island purely residual soils are found on recent volcanic rocks with an andesitic or basaltic composition, that originally did not contain any clay minerals at all. The colloidal fractions of these soils are exclusively formed by soil forming processes in situ. The two main ways of soil formation in this region give rise to :

- a) Lateritic soils containing kaolinite;
- b) Black soils with montmorillonite.

As is generally known lateritic soils show an acid reaction and it is quite sure that kaolinite from these soils is formed under acid conditions. The black clay soils with montmorillonite indicated by us are found in central and eastern Java around the foot of the recent volcanoes, where the climate is characterized by a pronounced dry monsoon and their formation is influenced by groundwater rich in silica. They show a neutral or alkaline reaction and occasionally calcium carbonate accumulates. In both cases, where no doubt as to the real processes of

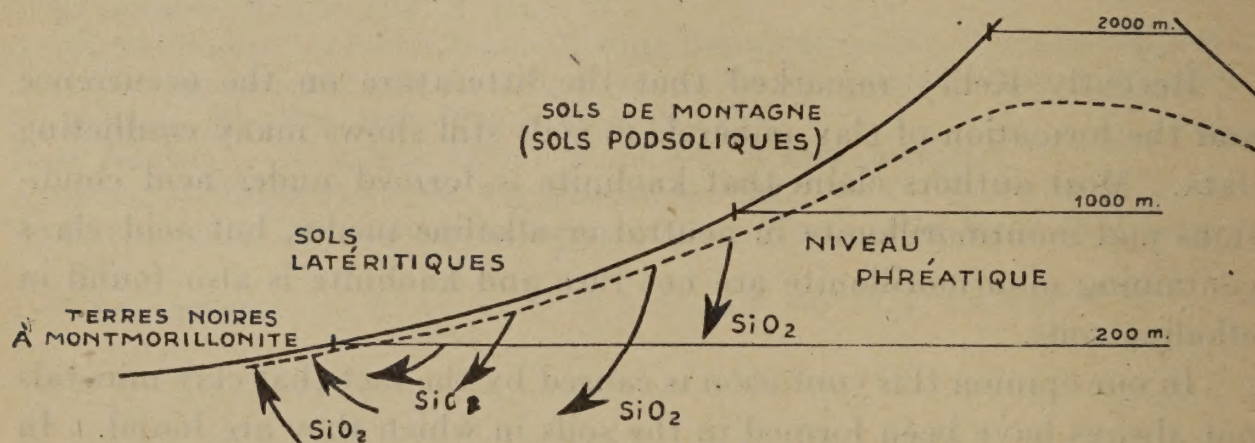


Fig. 1. — Schematic profile of a slope of a volcano from Java. After Edelman (1947).

soil formation is possible, the two most important clay minerals kaolinite and montmorillonite originate under conditions that are in complete accordance with the most accepted views.

We believe to be able to add some theoretical views to this empiric evidence that might elucidate natural phenomena. Our aim is to explain the properties of the clay minerals as a function of their crystal structures. Among these properties the colloidal phenomena are of outstanding importance and many data regarding these colloidal properties may be found in literature.

The behaviour of clay minerals against bases and acids shows that most clay minerals have amphoteric properties. Under acid conditions they exchange anions and under alkaline conditions cations. The hydroxyl groups that form a part of all clay minerals are the bearers of these characteristic exchange phenomena. At a low pH hydroxyls present at the surface of the crystal lattice are replaced by other anions. In these conditions the ampholyte behaves like a weak base. At high pH the ampholyte exchanges hydrogen ions against kations from the solution which means that the clay mineral behaves like a weak acid. At a certain intermediate pH the compound is very little sensible for variations in the pH and may be considered as stable. This pH concurs with an inflection point of the titration curve (point of equivalence). The isoelectric point nearly coincides with one of the inflection points of the titration curve. Near the isoelectric point the compound is

practically inert against the solution, which is clearly demonstrated by the titration curves of clay minerals.

The simplest example of these phenomena is formed by aluminium hydroxyde. This amphoteric compound is isoelectric near pH 8.1. At higher pH it behaves like a weak acid and reacts with bases; at very high pH the reaction is so strong that the compound is dissolved. Below pH 8.1 the compound behaves like a weak base and reacts with acids till at very low pH the aluminium hydroxyde is dissolved (fig. 2).

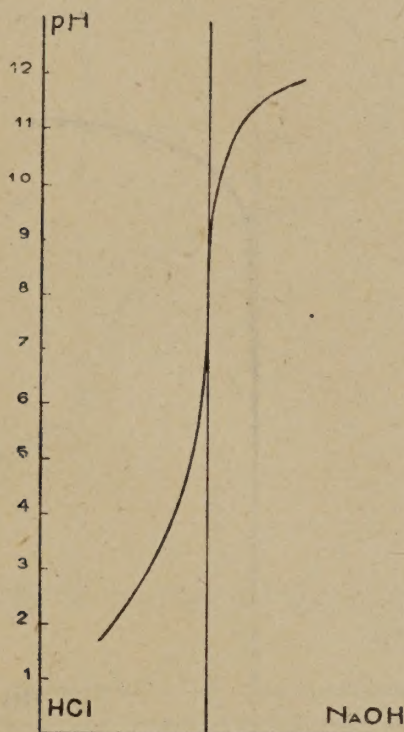


Fig. 2. — Titration curve of Aluminium hydroxyde (schematically).

Our thesis is that a crystal lattice finds its best possibilities near the isoelectric point and more generally near an inflection point of the titration curve.

As a matter of fact aluminium hydroxyde is formed both in nature and in the laboratory at a pH near 8. Mattson showed this fact many times in his important investigations on soil colloids and it forms one of the pillars of his theory on isoelectric soil formation.

The most favourable form of the formula of kaolinite is $(\text{OH})_3\text{Al}_2(\text{OH})\text{O}_2\text{Si}_2\text{O}_3$. In the lattice of kaolinite the hydroxyls bound to alumina and situated at the surface of the lattice form the active components. Kaolinite is amphoteric just like aluminium hydroxyde. The titration curve of kaolinite shows an inflection point near pH 4 (isoelectric point). Above this pH the mineral behaves like a weak acid and exchanges hydrogen ions against cations from the solution. At high pH the adsorption becomes important but it does not come to solvation of kaolinite in strong bases. Apparently the binding of the alumina

layers to the silica layers is too strong. Below pH 4 kaolinite exchanges hydroxyls against anions from the solution. In strong acids kaolinite is dissolved.

These properties make it highly probable that kaolinite cannot develop at a pH far from pH 4 to 5. Both nature and experiment are in accordance with these properties. At pH 4-5 kaolinite is nearly inert against its environment, a condition that must favour the growth of the cristal lattice (fig. 3).

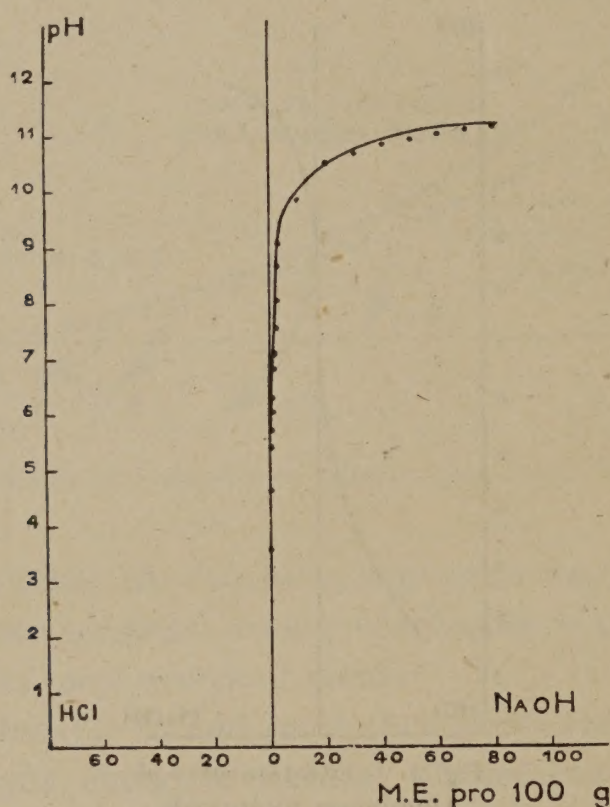


Fig. 3. — Titrationcurve of Kaolinite (10 g kaolinite in 50 cm³ solution, pH < 9 glass-electrode, pH > 9 Pt-H₂ electrode, measurements by P. H. Dal).

Our theory agrees completely with the views of Mattson, who showed that a mixed jelly of silica and aluminium in the proportion 2 : 1 is stable at pH 4. Kaolinite is nothing but the cristallised result of the stability of Mattson's isoelectric mixed jelly.

The titrationcurve of montmorillonite differs from those of aluminium hydroxyde and kaolinite. Montmorillonite reacts with bases not only in alkaline solutions but exchanges its hydrogen ions as well with kations from acid solutions. The curve from figure 4 shows two inflection points. We do not consider the inflectionpoint near pH 3.5 of real importance. The second inflectionpoint may be compared to the point of equivalence of an acid. At this point montmorillonite contains about 100 m. e. bases.

Near this point of equivalence montmorillonite shows a minimal activity against its environment. In our theory the lattice of mont-

morillonite can only develop near this point of equivalence and about 100 m. e. exchangeable bases per 100 g dry montmorillonite are associated with the lattice. This would be in good agreement with the evidence provided by nature and laboratory.

Moreover our theory gives the explanation of the remarkable fact,

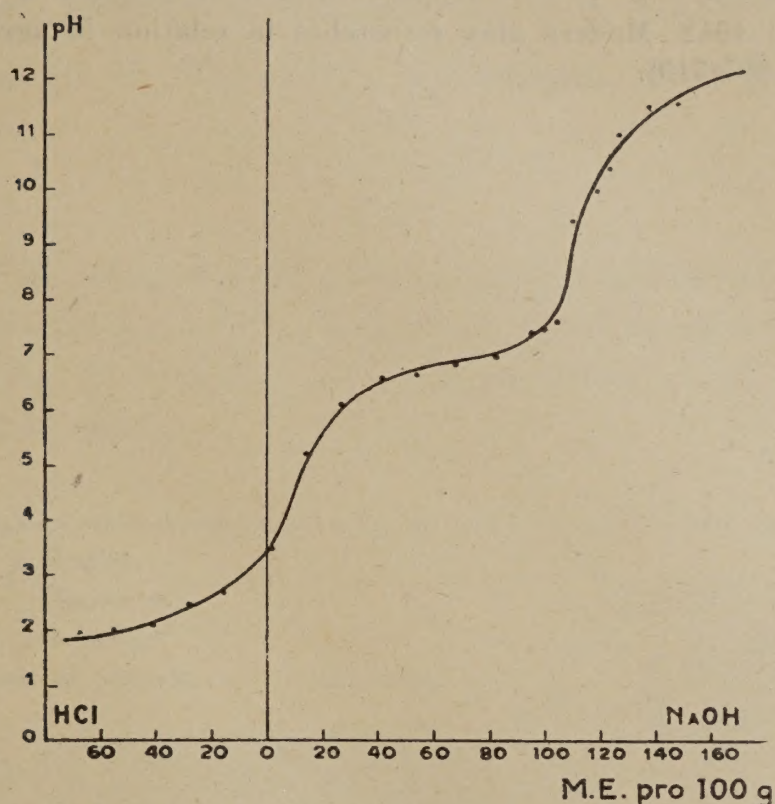


Fig. 4. — Titrationcurve of montmorillonite (733 mg bentonite in 50 cm³ solution, glasselectrode, measurements by G. H. Bolt).

that a compound, as rich in silica like montmorillonite, originates under alkaline conditions. According to the experiments of Mattson a compound of silica and alumina in the proportion 4 : 1 can only form at a pH near 2, but he prepared his mixed gels only in mediums poor in bases. The titrationcurve of montmorillonite demonstrates that the presence of exchangeable bases in the formation of montmorillonite is essential and explains the formation of a compound rich in silica under alkaline conditions of soil formation.

In a later paper we hope to develop our views regarding the origin of (meta) halloysite.

Bibliographie.

- BERGER (G.) 1941. De structuur van montmorilloniet. Voorlopige mededeling over de methyleerbaarheid van kleien en kleimineralen (*Chemisch Weekblad*, 38 No 4).
- EDELMAN (C.-H.), van BAREN (F.-A.) en FAVEJEE (J.-Ch.-L.) 1939. Mineralogische onderzoekingen aan kleien en kleimineralen. I General discussion of the mineralogical composition of clays and qualitative X-ray analysis of some dutch clays (*Meded. v. d. Landbouwhogeschool* 43, verh. 4, 1-39).

- EDELMAN (C.-H.) and FAVEJEE (J.-Ch.) 1940. On the crystal structure of montmorillonite and halloysite (*Z. Kristallogr. A* 102, 417-431).
- EDELMAN (C.-H.) 1947. Les principaux sols de Java (*Revue Botanique appliquée*. No 287-288, 1946).
- HARDON (H.-J.) and FAVEJEE (J.-Ch.-L.) 1939. Mineralogische onderzoeken aan kleien en kleimineralen. III. Qualitative X-ray analysis of the clay fraction of the principal soil types of Java (*Meded. v. d. Landbouwhogeschool*, 43 verh 6, 53-59).
- KELLEY (W.-P.) 1942. Modern clay researches in relation to agriculture (*Journ. Geology* 50, 307-319).

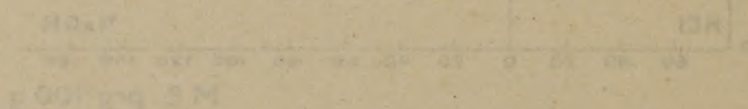


Fig. 1. The influence of pH on the amount of exchangeable cations in the soil solution. The curve shows the amount of exchangeable cations in the soil solution as a function of pH.

that a compound, as rich in silicic acid as montmorillonite, originates under natural conditions. According to the experiments of Hutton a compound of silicic acid and aluminum in the proportion 1:1 can only form at a pH near 2, but he prepared his mixed gel only in sodium form in water. The theoretical curve for montmorillonite demonstrates that the presence of exchangeable bases in the solution of montmorillonite is essential for the formation of a compound rich in silicic acid under natural conditions of soil formation.

In a later paper we have to discuss our views regarding the origin of natural clays.

Bibliographie

EDELMAN, C.-H. 1947. Les principaux sols de Java (*Revue Botanique appliquée*, No 287-288, 1946).

EDELMAN, C.-H. and FAVEJEE, J.-Ch. 1940. On the crystal structure of montmorillonite and halloysite (*Z. Kristallogr. A* 102, 417-431).

HARDON, H.-J. and FAVEJEE, J.-Ch.-L. 1939. Mineralogische onderzoeken aan kleien en kleimineralen. III. Qualitative X-ray analysis of the clay fraction of the principal soil types of Java (*Meded. v. d. Landbouwhogeschool*, 43 verh 6, 53-59).

KELLEY, W.-P. 1942. Modern clay researches in relation to agriculture (*Journ. Geology* 50, 307-319).

LES RECHERCHES PÉDOLOGIQUES DES TERRES INONDÉES AUX PAYS-BAS.

par C.-H. EDELMAN (Wageningen, Pays-Bas).

Parmi les désastres dont les Pays-Bas ont souffert pendant l'occupation nazie, l'inondation de 10 p. cent des terres agricoles a été un des plus importants. En général ces terres appartiennent à la partie la plus fertile de notre pays.

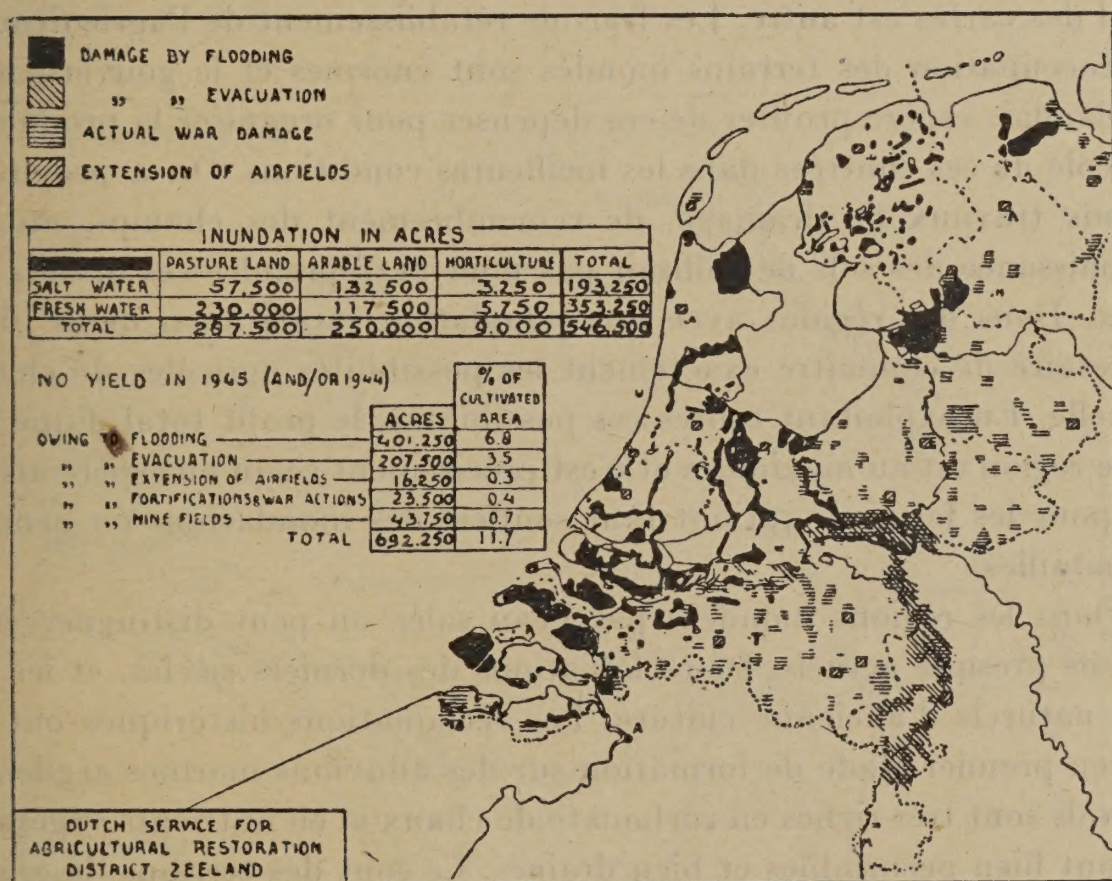


Fig. 1. — Les inondations, les champs de bataille et d'autres zones de démolissement dans les Pays-Bas.

Le Service d'État pour le rétablissement de l'agriculture a ordonné des recherches pédologiques sur ces terrains qu'on peut grouper en deux catégories :

a) Des recherches sur la désalination des sols inondés par l'eau salée, des recherches sur l'emploi et le dosage du gypse et sur la mise en culture des sols salés, des recherches sur le choix et la rotation des cultures;

b) L'établissement de la carte des sols inondés.

Plusieurs institutions ont été chargées de ces recherches. Les stations de Kampen et de Groningen travaillent sur le premier groupe de problèmes en coopération étroite avec le bureau scientifique du service pour le rétablissement de l'agriculture. On a installé un laboratoire pédologique à Goes (Zeeland) où les analyses des sols sont faits en grandes séries. L'application de gypse a obtenu une grande importance. Les autorités hollandaises ont acheté tout le gypse de l'Europe occidentale et les quantités, nécessaires pour amender les sols salés se montent à plus de 500.000 de tonnes de gypse. La théorie sur les sols salés étant bien connue, il n'est pas nécessaire de la traiter ici. Le succès du gypse a été très grand et a réduit les risques d'une façon considérable.

L'Institut pour la carte pédologique des Pays-Bas dont nous avons l'honneur d'être le directeur, compose des cartes détaillées des sols des terrains inondés. Les travaux contribuent directement au dosage du gypse et à d'autres recherches du premier groupe, mais le but principal des cartes est autre. Les frais de rétablissement de l'agriculture et la réoccupation des terrains inondés sont énormes et le gouvernement néerlandais espère profiter de ces dépenses pour organiser la production agricole de ces contrées dans les meilleures conditions. On a projeté de grands travaux de drainage, de remembrement des champs, etc. La connaissance des sols ne suffisait pas pour entreprendre ces grands travaux. Dans des régions avec une population rurale aussi dense il est nécessaire de connaître exactement les possibilités agricoles de chaque parcelle. En exploitant toutes ces possibilités, le profit total d'une certaine région est au maximum et c'est précisément ce qu'on espère atteindre pour les fermiers qui ont tant souffert des inondations ou pendant les batailles.

Dans les régions inondées par l'eau salée on peut distinguer entre les sols presque actuels, les réclamations des derniers siècles, et les sols plus naturels d'ancienne culture. Les réclamations historiques ont des sols en premier stade de formation sur des alluvions marines argileuses. Les sols sont très riches en carbonate de chaux et en nutriments végétaux; ils sont bien perméables et bien drainés. Ce sont des terrains de grande culture. A présent, la structure de ces sols est mauvaise à cause de la haute teneur en sodium adsorbé, mais ce phénomène est temporaire et après le traitement au gypse la fertilité de ces sols sera rétablie complètement en quatre ou cinq ans. Dans ces terrains, dont l'étendue est considérable, les problèmes sociaux sont simples et des études pour une amélioration des terrains ne sont pas du tout urgentes.

Dans les terrains plus anciens la situation agricole n'était pas favorable. Une grande partie des sols est pauvre en carbonate de chaux, imperméable et mal drainée. Souvent ces alluvions anciennes forment

une couche mince d'argile gras, reposant sur des tourbes salées. Ces terrains forment des pâturages de qualité inférieure. Les terrains avec des sous-sols tourbeux sont intercroisés par des anciennes criques ravinant la tourbe et colmatés par des alluvions sableuses et sablo-limoneuses. Ces terrains, en forme de rubans, ont des sols perméables et faciles à labourer, mais souvent décalcifiés. Les exploitations sont mixtes et souvent petites. Comme dans beaucoup de pays ruraux anciens, les parcelles sont mal formées et chaque ferme doit exploiter des parcelles éloignées des bâtiments.

Le sous-sol tourbeux a souffert beaucoup de compaction pendant les douze siècles d'exploitation rurale. Les terrains à sous-sol tourbeux forment maintenant des dépressions et les sols des criques à sous-sol sableux se montrent comme des crêtes. Cette situation offre de grandes difficultés pour le drainage. Les sols des crêtes sont très perméables et souffrent de la sécheresse quand les dépressions sont bien drainées. Les cartes pédologiques ont fourni un projet de drainage bien adapté à la situation réelle.

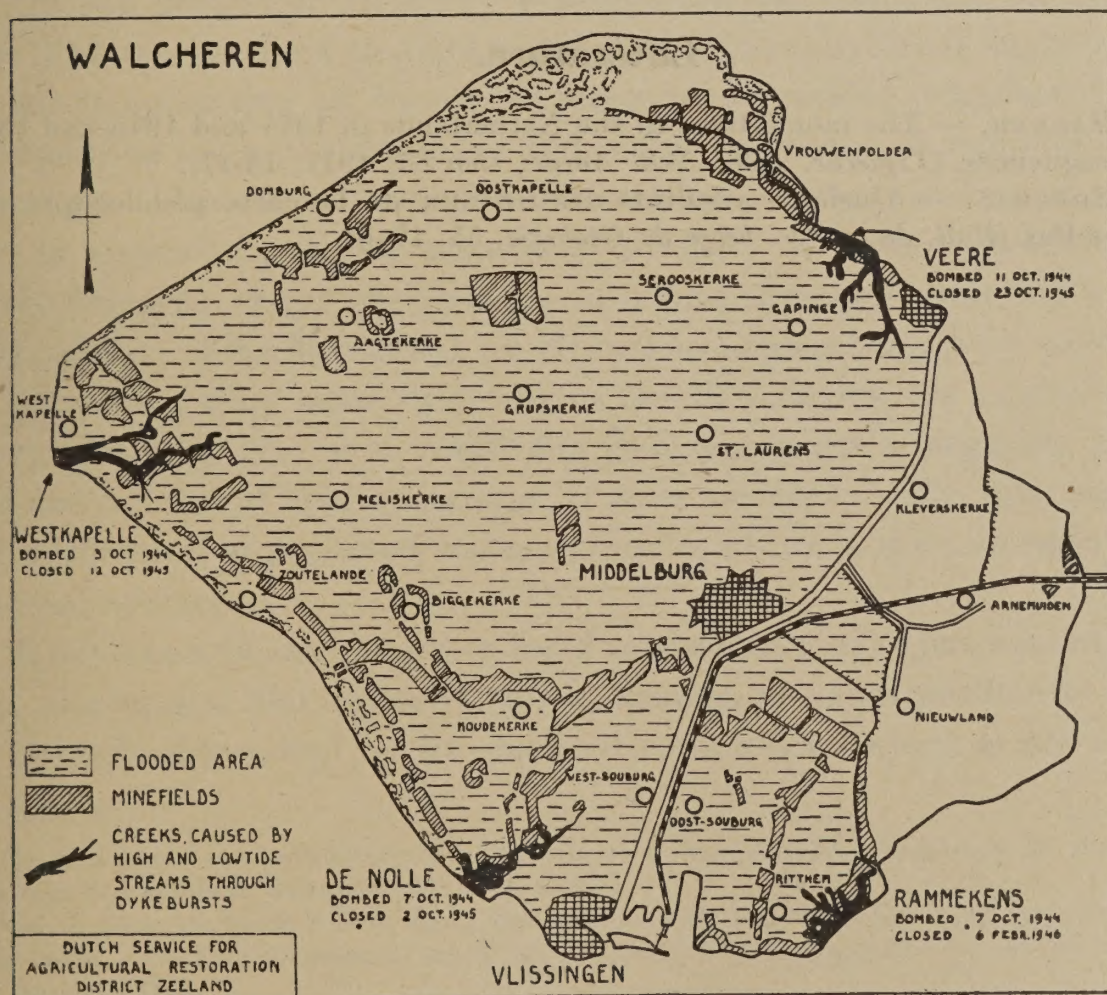


Fig. 2. — Carte de l'île de Walcheren, indiquant l'inondation et les criques d'érosion.

L'île de Walcheren, l'exemple le plus important des alluvions anciennes, a été inondée pendant la bataille d'Anvers par un bombardement

des digues. La population rurale de cette île était très dense et beaucoup d'exploitations étaient trop petites. Toute une réorganisation de l'agriculture de Walcheren est en voie d'exécution. Il a été nécessaire de chercher une surface considérable de prés, dans les dépressions qui, après drainage, fournira de bonnes terres arables. Les levées pédologiques ont de nouveau fourni la base pour cette sélection des terrains.

Pendant l'année de l'inondation, l'île de Walcheren a souffert beaucoup de l'érosion par l'action des marées. Beaucoup de champs ont perdu leurs terres labourables. D'autres ont été couvertes par une couche de boue ou de sable. Ces phénomènes sont aussi indiqués sur des cartes.

Les cartes détaillées des régions à alluvions anciennes montrent une grande diversité de types de sols, variant en caractères et qualités agricoles et horticoles. La plupart de ces différences est causée par des facteurs géogènes, qui se voient nettement sur les cartes. C'est l'eau courante qui a rangé et modelé les matériaux qui forment maintenant les caractères prépondérants des sols alluviaux des Pays-Bas.

Littérature.

- G. DE BAKKER. — The inondations in the Netherlands in 1944 and 1945 and their consequences. (*Tijdschr. Kon. Ned. Aardr. Gen* 64, 1947, 13-17).
- C.-H. EDELMAN. — Quelques résultats des travaux de la carte pédologique des Pays-Bas (*Bull. de la Soc. belge de Géologie*, 55, 1946).
-

THE STRUCTURE OF MONTMORILLONITE

Preliminary-communication

about the capacity of clay and clayminerals to be methylated.

By G. BERGER (1).

Montmorillonite, one of the most important clayminerals, possesses two characteristic properties which are of great importance both for theoretical and practical soil science; the capacity for base exchange and the intra-cristalline, one dimensional swelling. Notwithstanding the numerous investigations of recent years, the cristal structure of montmorillonite has not yet been quite elucidated and there is by no means concurrence of opinion about the explanation of the properties.

On the ground of an X-ray examination Hofmann and his co-workers (2) have ascribed to montmorillonite a pyrophyllitical layer-lattice structure consisting of two Si-O-tetraeder-layersheld together by an interpolated layer of aluminium hydroxyde by means of common atoms of oxygen. Between these aluminium silicate layers piled upon eachother in a parallel position, a variable quantity of water is held adsorbtively bringing about the swelling in a perpendicular direction on the (001)-plane. Like MARSHALL (3) HOFMANN explains the base exchange by supposing that some Si-atoms in the Si-O-layers are replaced isomorphously by Al; as a result the Si-O-layers get a negative charge and are capable of holding cations at their surfaces. This also explains the adsorbtion of polarised water molecules between the two negatively charged surfaces.

EDELMANN (4) on the other hand has pointed out that according to this conception the capacity for exchange of montmorillonite must be strongly dependent on its chemical composition which is not confir-

(1) This paper is a translation of a preliminary communication, published in the Dutch language in *Chemisch Weekblad* 38, 1941, 42-43.

Dr. G. BERGER, being a Jew, dealt the cruel fate of millions of European Jews under the Nazi-terror. Nothing is known of what has happened with him since he fell in the hands of the Nazi's in 1941.

The more extensive publication, announced in this paper, has not been written.

(2) U. HOFMANN, K. ENDELL, D. WILM, *Z. KRIST.* 86 340 (1933);

U. HOFMANN and W. BILKE, *KOLLOID Z.* 77, 238 (1936);

E. MAEGDEFRAU and U. HOFMANN, *Z. KRIST.* 98, 299 (1938).

(3) C.-E. MARSHALL, *Z. KRIST.* 91, 433 (1935).

(4) C.-H. EDELMAN, *Trans. Third Intern. Congr. Soil Sei.*, vol. III, 97 (1935).

Agricultural Journal (Landbouwk. Tijdschrift), 49, 358 (1937).

med by experience; moreover he points out, that the Hofmann-structure (as seen from the variable (001) distance) is identical with the structure of pyrophyllite according to GRUNER (1) and that therefore it is not to be seen why, whereas montmorillonite shows, in such a high measure, the phenomenon of swelling, pyrophyllite does not show this phenomenon at all.

Therefore EDELMAN and FAVEJEE (2), for the Si-O-layer in montmorillonite assume a cristobalite-like structure with at the exterior of the Si-O-layers a number of hydroxylgroups. These hydroxylgroups, like most OH-groups tied to Si, are of a weakly acid character, so in a aqueous montmorillonite suspension the hydrogen-ions will partly dissociate and be replaced by other cations. The presence of OH-groups also explains the hydrophile character of montmorillonite as distinct from hydrophobe pyrophyllite where only atoms of oxygen are to be found on the exterior of the Si-O-layers; EDELMAN and FAVEJEE have advanced various other arguments in favour of this structure; so far, however, they have not yet been able to produce conclusive evidence by x-rays or otherwise for their conception.

We have now succeeded in furnishing proof for the essential correctness of the structure according to Edelman by a purely chemical method. It is a known fact that weakly acid hydroxylgroups (phenols, carbonic acids, negatively substituted alcohols) are easily methylised by means of diazomethane. If Edelman's conception should be correct it was to be expected, that the weakly acid OH-groups of montmorillonite to be found on the exterior and easily accessible, will also be methylised by diazomethane. Now it did appear from our first qualitative experiments already that pulverized clays, such as fullers earth, bleaching clay, bentonite, containing a large percentage of montmorillonite, reacted very clearly on an ethereal solution of diazomethane under development of nitrogen.

After this we made the following quantitative experiments with a very pure montmorillonite put at our disposal by Professor EDELMAN. This sample according to Dr. FAVEJEE (3) contained no other minerals and consisted only of particles < 2 micron. About 0,2 g. of montmorillonite was treated with an abundance of 0,1 n HCL, filtered and washed out until the chlorine reaction had disappeared. The H-montmorillonite thus obtained was dried at 150° and treated with a solution of diazomethane in ether, dried by KOH for such a time that no longer any perceptible development of nitrogen appeared which treatment took five to six days. Then it was filtered a last time,

(1) J.-W. GRUNER, Z. KRIST. 88, 412 (1934).

(2) C.-H. EDELMAN and J.-Ch.-L. FAVEJEE, Z. KRIST. 102, 417 (1940).

(3) According to J.-Ch.-L. FAVEJEE, Z. KRIST, 101, 259 (1939).

washed with absolute ether and petroleum ether and dried in vacuum over P_2O_5 . The content of methoxyl of this methyl montmorillonite was determined according to Zeisel VIEBOCK (1).

59.6 resp. 60.9 mg used 4.35 resp. 4.57 cm³.
0.1 n. solution of theosulfate corresponding
to 121.4 resp. 122.8 milli-aeq. methoxyl per
100 g. dry methyl-montmorillonite.

It is known that the exchange capacity of montmorillonites and bentonites mostly amounts to about 100 milli-aeq per 100 g dry matter. As owing to lack of material we could not determine the exchange capacity of our montmorillonite, we repeated the methylating experiment with a bentonite of known exchange capacity. This bentonite which was put at our disposal by Professor HUDIG according to Ir. Domingo's analyses contained 91 % particles < 2 micron and had an exchange capacity of 96 resp. 110 milli aeq/100 g with a pH of 6.5 resp. 8.2.

Treated in the above mentioned way with HCL, dried and methylated, we found a methoxyl-percentage of 94.0 milli aeq/100 g, a very good concurrence.

It stands to reason that the more hydrogen ions of the OH groups will be replaced by other cations the less will be the possibility for methylating by means of diazomethane. In two samples of montmorillonite which were first treated with a solution of 0.02 n Na OH-resp. $Ba(OH)_2$, alcohol-washed, dried and then methylated, we actually found a much lower methoxyl percentage : 53.7 resp. 54.8 milli aeq/100 g.

By the above mentioned facts we consider proved the presence of weakly acid hydroxyl groups in the cristal lattice of montmorillonite and we also conclude that the base exchange takes place at and owing to these OH groups.

It is true that the number of hydroxyl-groups found by us is much smaller than fits the Edelman androxyll-gee formula. According to them the ideal formula for H-montmorillonite is $Al_2(OH)_4O_2Si_4O_6(OH)_2$ and so contains 504,8 milli aeq OHt-groupstied to Si, on 100 g. It is, however, easy to see that not all weakly acid OH-groups will be accessible to methylating. It namely appears from Edelman's model of structure that the space between two Si-O-layers is at the utmost adequate for half the theoretically possible methyl-groups. With the aid of this model the identity-distance of completely methylated montmorillonite is calculated at 16.2 Å (2) whereas the identity-distance of our methyl-montmorillonite as fixed by χ -rays by Dr. FAVEJEE

(1) F. VIEBOCK and C. BRECHER, Report 63, 2818 and 3207 (1930)

(2) The O-C-distance was assumed to be 1.43 Å, the radius of the CH_3 -groups 2.37 Å and for the angle of valence to the oxygen atom 110° was accepted.

is but 14.1 Å (1). Moreover it is probable that as soon as a part of the OH-groups has become methylated (resp. occupied by cations) the acidity of the remaining will not be big enough to be methylated. For we may regard the Si-O-layer as a two dimensional micro-molecule-ion) of a polyvalent acid and it is a known fact that by basic acids the dissociation constant of the successive degrees of dissociation is rapidly decreasing.

Finally it should be mentioned that common silicagel also proved to be easily methylated. A some-years-old preparation, fully amorphous according to the χ -ray-photo, after drying at 105°, and after methylating yielded a product that contained 160 milli-aeq methoxyl per 100 g. This fact strongly supports the conception of EDELMAN and his co-workers (2) according to whom amorphous silicagel is also said to possess a cristobalite-like structure with a variable number of hydroxyl-groups. Our experiments are continued in co-operation with the geological and chemical Institutions of the Agricultural University, a more extensive publication will soon follow, elsewhere.

Wageningen, Org. Chem. lab. of the Univ. of Agr. Dec. 1940.

(3) The identity-distance of methyl montmorillonite proved to be independent of the tension of the water vapour. So the montmorillonite owing to the methylating has lost its swelling capacity.

(4) Cf. C.-H. EDELMAN, F.-A. van BAREN and J.-Ch.-L. FAVEJEE, *Communication of the agricultural University, Wageningen*, vol. 43, 16 (1939).

THE STUDY OF SOIL ORGANIC MATTER AND ORGANIC MANURES BY MEANS OF FIELD EXPERIMENTS

E.-M. CROWTHER,

Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts.

Agricultural discussions on the balance between cultivating and resting land or on the use of bulky organic manures still proceed on much the same lines as more than a century ago. Before de Saussure and Boussingault had established that plants take their carbon from the air, it was easy to rationalise practical experience of the merits of farmyard manure and clover leys by assuming that plants feed on humus in much the same way as animals feed on plants. Liebig's mineral theory, corrected for nitrogen by Lawes and Gilbert, disposed of this facile explanation. For a time agricultural chemists may have tended to underestimate the importance of soil organic matter, but later work has revealed very many ways in which organic manures and soil organic matter may indirectly influence soil fertility and crop production. Organic manures, crop residues and the humus derived from them may provide immediately available plant foods and reserves of slowly available forms; they supply energy for micro-organisms; they hold exchangeable bases and minor elements; they stabilise soil crumbs and generally improve the physical properties of the soil. Some special schools, who ascribe unique virtues to farmyard manure or composts, go further and assert that these materials furnish either vitamins or hormones, or, alternatively, favour mycorrhizal fungi which enable cultivated crops to obtain organic compounds not otherwise available.

Soil science appears to have had little effect on these agricultural discussions apart from providing a more technical jargon in which to rephrase old views and to put forward elastic hypotheses which can be neither demonstrated nor refuted. There are so many theoretical possibilities that sometimes the romantic approach seems more erudite than prosaic statements in terms of N, P, K and gross physical effects. It may be useful to consider some of the difficulties inherent in the scientific treatment of the agricultural aspects of soil organic matter.

Many changes in cultivated soils are accompanied by either gains or losses in soil organic matter, but the variations in organic matter are not necessarily the direct cause of the alterations in soil fertility.

An extreme example is provided by sheet erosion. When a high tropical forest is carelessly cleared, or when excessive or unwise cultivation leads to erosion by wind or water, loss of surface soil leaves a residue of lower organic matter content, but it would be a dangerous oversimplification to suppose that to use farmyard manure would be a sufficient remedy.

In undisturbed soils the organic matter content is stabilised at values reflecting the influence of soil, climatic and biotic conditions on the plant cover and rate at which its residues decompose. The chernozem is of special interest in this connection. Some visitors to the Russian steppes have spoken of the chernozem as the ideal soil, and then added the qualification that unfortunately seasonal droughts do not allow crops to do full justice to its richness. They thought of the advantages of having such soil structure and humus contents in the more humid climates with which they were more familiar. They ignored the vital circumstance that the chernozem has a high organic matter content largely because the heat and drought of late summer and extreme cold of winter retard decomposition of roots and straw from the flush of grass in early summer. It is impossible to have the qualities of a chernozem soil in a climate more favourable for intensive crop production.

All cultivation and exposure of bare soil necessarily speeds up the decomposition of soil organic matter; all resting under grass or tropical bush tends to increase soil organic matter, both by adding fresh organic material and by retarding its rate of oxidation. But grass and bush and cultivation do many other things to soil, and the main interest in a rising or falling content of organic matter may be as a symptom rather than as a cause of changing soil fertility. If the organic matter is falling the soil is probably being over-cultivated; the remedy may lie in a better balance between cultivating and resting and not in adding farmyard manure. On the other hand, in some circumstances, where it is essential to keep the physical and chemical conditions of the soil suitable for cultivation and crop growth at all possible seasons, as in market gardens, it may be necessary to use large dressings of organic manures. In Britain it is customary to ascribe the obvious merits of mixed farming to the farmyard manure which links the feeding of animals with the production of arable crops, but sometimes a more adequate explanation may be provided by the better balance of cultivation and resting under grass which the system makes possible. In this connection it is of interest to contrast British with Danish practice in mixed farming. Largely through the results of many field experiments Danish practice has come to be based on storing liquid manure and applying it directly to arable land to conserve and utilise nitrogen and potash from

home-grown and imported feeding stuffs for animals. Such methods are not used in Britain where the traditional emphasis on the virtue of rotted straw leads to serious losses of nitrogen and potash from farm buildings, especially from modern cowhouses, and to a poor economy of plant nutrients on the farm as a whole.

When one enquires why soil science has made so little contribution to the agricultural aspects of soil organic matter, it is difficult to avoid the conclusion that investigations on this subject have been confined too rigidly to the laboratory or to purely observational and descriptive methods in the field. There is a serious lack of facts established by actual trial in the field under different conditions of soil, climate and farm management. This is due in part to the inherent difficulty of the subject and in part to the lack, until recently, of methods of field experimentation suitable for dealing with several independent factors. Considerable progress has been made in recent years in the design of at least short-term experiments, and a modest beginning has been made with long-term experiments. It is suggested that these methods should now be applied to studying the behaviour of soil organic matter in the field over a period of years. This is particularly necessary in colonial and tropical agriculture, where more efficient methods of production are urgently needed and where the risks of damage from unsound methods may be most serious.

It is proposed in the present paper to review the results of a few old field experiments on the effect of organic manures on soil organic matter and of a few more recent ones on the effects of organic manures and other related factors on crop yields.

The nitrogen contents of soils under continuous wheat in Broadbalk Field, Rothamsted 1843 to 1945.

In the oldest surviving field experiment winter wheat has been grown with annual manuring every year since 1843. Owing to severe weed infestation the experiment was interrupted in 1925 for fallowing parts of the plots and, after a few transitional years with two-year fallows on three-fifths and four-year fallow on one-fifth of each plot, the cropping was stabilised at four years' wheat and one year's fallow, each plot having all five phases every year (see E.-J. RUSSELL and D.-J. WATSON 1940).

The nitrogen contents of the surface soils on a number of occasions are given for a few plots in Table 1 and Fig. 1. It will be seen that where no nitrogen was added (plots 3 and 5) and the crops were very poor, the nitrogen contents of the soils remained almost stationary at around 0.10 %. Where NPK fertilizers were given annually, the soil nitrogen soon became stable at the slightly higher value of 0.12 %. The increase

was no doubt due to a small accumulation of organic matter from the roots of the good crops of wheat grown with this manurial treatment. By the time the first soil samples were taken in 1865 the nitrogen content of the plot with farmyard manure annually since 1843 (Plot 2B) had risen to 0.18 %. The value continued to rise, though more slowly, until it reached 0.25 % in 1914. Unfortunately this critical value is uncertain because samples from the top and bottom of the field gave most unusually discordant values (0.266 % and 0.236 %). It is difficult to resist the conclusion that the higher value was due to some fortuitous irregularity. Plot 2A, which was unmanured until 1885 and then received farmyard manure as on Plot 2B, showed a similar rapid initial rise.

The steady rise in soil organic matter on the farmyard manure plots was checked by the two-year or four-year fallows between 1926 and 1929 and the one-year fallow every fifth year subsequently. Even if the lower value is taken for plot 2B in 1914, both farmyard manure plots had less nitrogen in 1936 than in 1914, although over 4 metric tons of nitrogen per hectare had been added in the interval. This check to the accumulation of soil organic matter would be expected, because during the fallow years no organic matter was added as manure or plant roots and the residues from recent applications would be rapidly oxidised. On plots without added nitrogen the soil organic matter contents increased slightly, probably as the result of the much better crops on these plots in the years immediately after fallows.

The gains in soil nitrogen on plots 2B and 2A over the continuously unmanured plot are compared with the total amounts of nitrogen previously added in farmyard manure in Table 2 and Fig. 2. These bring out clearly the high initial rates of accumulation, the long period at which about one-quarter of the added organic matter accumulated in the soil, and the fall in soil nitrogen after the fallow was introduced.

The nitrogen contents of soils under continuous wheat or barley, Stackyard Field, Woburn 1876 to 1932.

The Woburn experiments were commenced in 1876 on an acid sandy loam for comparison with the results on the heavy neutral loam at Rothamsted. It is unnecessary to present data for plots with various combinations of fertilizers as all the differences were negligible. Details have been given by E.-M. Crowther (1936). Table 2 and Fig. 2 show the average nitrogen contents of soils with continuous wheat or continuous barley for treatments with and without farmyard manure.

The Woburn experiment began after a spell of high farming with the soil in much better condition than on Broadbalk. The nitrogen

content at Woburn was initially much higher (0.15 %) but where no farmyard manure was given it fell steadily, one-third of the total being lost in 50 years. The plots with farmyard manure showed a slight rise in the early years and then a slight fall after the rates of application were reduced. After 50 years the nitrogen content was close to the initial value.

In the five years 1928-1932, when no manure was given and the field was fallowed twice, the nitrogen content fell rapidly. The loss amounted to one-sixth of the total or to one-half of the excess over plots without farmyard manure. At Woburn, as at Rothamsted, the introduction of fallowing had negligible effects on the plots without farmyard manure. This illustrates the point that the more resistant forms of soil organic matter are very resistant indeed.

Over fifty years the gain in soil nitrogen from farmyard manure was about 30 per cent of the total amount added. This is similar to the value (27 %) after 50 years on Plot 2B of Broadbalk.

There was no evidence in these Woburn plots that soil reaction influenced the loss of organic matter. In 1927 the average nitrogen contents of unlimed, lightly limed and heavily limed plots were 0.102, 0.103 and 0.099 per cent respectively.

Table 2 includes for comparison results from large adjoining plots cropped mainly in a four-course rotation, with four applications of farmyard manure in the early years and then with the root crops fed off by sheep. The losses were almost as great as on the continuous cereal plots.

Crop yields and nitrogen contents of soils in rotation experiments at Lyngby, Denmark, 1910 to 1942.

No long-term rotation experiments on farmyard manure have been made in Britain but several experiments have been made under similar climatic conditions in Denmark. An example may be taken from Lyngby. (K. DORPH-PETERSEN, 1946).

Farmyard manure and/or liquid manure were generally applied twice in each six-year rotation and fertilizers were applied annually at rates appropriate for the crops. The total amounts of N, P, K in the fertilizers were made equal to those in the farmyard manures.

Both farmyard manure and fertilizers greatly increased the crops. In this experiment, as in most of the other Danish experiments, the half-rate of fertilizers gave about the same average yields as the full rate of farmyard manure. There was, however, some sign of a cumulative effect from farmyard manure, which gave slightly poorer yields than half as much NPK in fertilizers in the first twelve years but rather

better yields in the second twelve years. The same effect is shown on comparing the combinations of half-rate farmyard manure and half-rate fertilizers with the full rate of fertilizers.

Residual effects were measured from 1934 to 1942, when no organic manures were given and most of the plots received fertilizers at half-rates. All residual effects were small by comparison with immediate effects, but residual effects from farmyard manure were slightly better than those from fertilizers.

Analyses of soil samples taken in 1933 showed that farmyard manure had appreciably increased the carbon and nitrogen contents of the soil. With the farmyard manure at the full rate the nitrogen content was 0.023 per cent above the untreated soil. This is equivalent to the accumulation of about 572 kg. N per ha. from a total application of about 1800 kg. N per ha. or a recovery of about 32 per cent.

It is a matter of considerable interest that the three long-term experiments considered show similar results for the percentage recovery in the soil of nitrogen added in farmyard manure.

Rothamsted.	(50 years)		27 %
Woburn.	(50 —)		30 %
Lyngby.	(24 —)		32 %

It is not possible from these figures to estimate the approximate rate of loss of organic matter from soils, for there are at least two independent factors to be estimated. The loss must necessarily be very rapid in the year the manure is applied, but thereafter the more stable organic matter may oxidise only very slowly indeed. Instead of postulating either a constant absolute or a constant relative rate of loss, it would seem more reasonable to assume a high initial loss and then a slow but roughly constant relative rate of loss. Thus, one might, for example, guess that 85 per cent is lost in the first year and then one-half of the remainder each subsequent year. Very careful analyses on soil samples taken regularly over many years from well-planned field experiments would be required to provide even approximate estimates of the actual rates of loss of organic matter added to land cropped in normal rotations. Some of the factors involved in planning such experiments may be illustrated from a recent Rothamsted experiment designed to measure the residual effects of organic manures (and also phosphate fertilizers) on crop yields.

*Rothamsted Hoos Field experiment on the
residual value of manures 1930 +*

In most rotation experiments on immediate and residual manurial values, dressings are given to the crops which would normally receive

them in practice. This reduces the opportunity for measuring the actual rate at which manurial value is lost, because the residual effects are tested on less sensitive crops than the immediate effects. Thus the manures might be given to potatoes and the residues tested on cereals which are relatively unresponsive crops. To measure rates of exhaustion the manures should be given at all stages of the rotation so that the residual effects are measured on each crop. Further, to spread the effects of local soil irregularities over all stages of exhaustion, it is desirable to have the cropping rotation out of phase with the manuring rotation. In the Hoos Field experiment there are four blocks, one for each crop of a four-course rotation, with 25 plots in each block to test five manures, each applied to one plot annually and repeated on this plot every fifth year. In this way all stages of exhaustion are measured by each crop in a single block each year and it will be 20 years before a given stage of exhaustion is measured by the same crop on a given plot. The results of such an experiment are necessarily of low precision in a single year but they gain steadily in accuracy as the experiment proceeds.

Preliminary results over 14 seasons are given in Table 5 for four of the five manures and for two of the four test crops. All treatments supply the same total amounts of N, P and K. The farmyard manure and the chopped straw (with fertilizers) are given every five years and the plots are then left untreated for four seasons. Superphosphate and mineral phosphate are also given every fifth year to plots which receive one-fifth of the total N and K every year. The soil is slightly calcareous and it is not to be expected that mineral phosphate would have any appreciable effect; it therefore serves as a "control" for the superphosphate.

On all responsive crops the effects of farmyard manure, straw and superphosphate fall off very rapidly after the year of application and then quite slowly.

For potatoes the residual effects of superphosphate at all stages are much above even the immediate effect of mineral phosphate. This suggests that superphosphate may have a prolonged residual effect on this neutral soil. Parenthetically, it will be noted that phosphates have negligible effects on wheat.

The yields from straw with fertilizers are slightly higher than those from farmyard manure. The yields from superphosphate with one-fifth N and K annually are higher than those from the organic manures for all years with potatoes and for all years but the first with wheat. In so far as comparisons are possible, the results of this experiment are in general agreement with the deductions already made from the soil data of the earlier experiments. The main benefit from farmyard

manure is shown in the year of application, but there is a small residual benefit over several years.

Rothamsted Potato Experiments 1940-1945.

All the experiments so far considered suffer from the limitation that they cannot show the separate contributions of individual plant foods to the aggregate effects of farmyard manure. Indeed, the Lyngby experiment is the only one of those considered in which farmyard manure was tested with and without fertilizers, but, even in this experiment there is no means of knowing the relative importance of nitrogen and potassium in the effects observed from either farmyard manure or fertilizers. Such information can be obtained only from experiments in which bulky manures are examined in factorial combinations with different kinds of fertilizers. As an example of this kind of experiment data are given in Table 6 for a few of the treatments in a recent series of single-year potato experiments at Rothamsted. In all but one of the experiments eleven organic manures were tested at two rates on 75 main plots in three 5×5 Lattice Squares; each plot was divided into quarters to test N, P and K fertilizers (the N P K interaction being confounded).

Two of the organic manures are selected from the eleven to illustrate the kind of information available. Two lots of farmyard manures were prepared from constant quantities of feeding stuffs given to bullocks with different amounts of straw as bedding.

These two farmyard manures gave closely similar yields. Under the careful conditions of making manure adopted for these experiments there is no benefit from increasing the amount of straw. Contrary to the views of some farmers, the value of farmyard manure depends much more on the plant nutrients it contains than on the straw used to carry those nutrients.

Potatoes on Rothamsted soil give large responses to potash but only very small ones to phosphate. There were negligible responses to extra potash as fertilizer on plots already receiving farmyard manure but very large responses on plots without farmyard manure. The manurial value of farmyard manure for potatoes must therefore be ascribed very largely to the potash it supplies.

The response to nitrogen as fertilizer was at least as great on crops receiving farmyard manure as on those without farmyard manure. Such a result does not appear to have been generally recognized by farmers or by many experimenters who have cut down their dressings of nitrogen fertilizers on land or plots already receiving dung.

The recent Rothamsted potato results are, however, in harmony

with the results of other field experiments in Britain. A survey by Crowther and Yates (1941), subsequently revised in one detail by Crowther (1945), of all experiments recorded between 1900 and 1940 showed that the average response to nitrogen fertilizers was reduced by only about one-tenth on dunged land, whereas the average response to phosphate fertilizer was reduced by one-half and that to potash fertilizer by two-thirds. These results are equivalent to stating that to secure comparable responses the fertilizer dressings on dunged land should be reduced below those on similar undunged land by about the following amounts :

N	5 kg. per ha.
P ₂ O ₅	50 kg. per ha.
K ₂ O	75 kg. per ha.

This statement must not, of course, be taken to imply that farmyard manure fails to supply available nitrogen, but rather that by supplying other nutrients and improving the physical conditions of the land the farmyard manure gives better crops, capable of responding to larger aggregate amounts of each of the plant foods, and especially of nitrogen. Further, farmyard manure is normally applied at a stage in the rotation when the land is most exhausted and, therefore, most responsive to additional plant food.

In practice this finding means that on dunged land crops such as sugar beet or mangolds might need only a nitrogen fertilizer, whereas on similar undunged land roughly equal amounts of N, P₂O₅ and K₂O would be required. The balance of plant foods in fertilizers should be different on dunged and undunged land, though farmers generally use the same mixture at somewhat lower rates on the dunged fields.

These results afford a further illustration of the difficulty or, even, the impossibility of determining the manurial values of such complex materials as farmyard manure merely by chemical analysis. Bulky manures may bring in so many indirect effects that the problems need to be attacked by field experiments on materials which have been carefully prepared and analysed. The vast literature on the chemistry, biochemistry and microbiology of different methods of making farmyard manure and compost deals almost exclusively with analytical data, but it is doubtful whether any of the findings about available nitrogen can have any relevance to agriculture. Quite often comparative trials in the field give different results from those anticipated from the judgement of practical men or from chemical analyses.

In recent years a series of experiments on various kinds of farmyard manure, straw composts, sewage sludges and town refuses have been carried out by the Rothamsted staff on a number of commercial farms

and market gardens. Such experiments are difficult to design and most laborious to conduct, but, until there are more of them, it is doubtful whether there can be much progress in our understanding of the mode of action of bulky organic manures or any reliable assessment of their practical value.

Woburn experiment on leys.

Long leys are known to be one of the best methods of « resting the land », improving soil structure and building up soil organic matter. Great emphasis has been laid in recent years on the importance of “alternate husbandry” — the alternation of leys and tillage—and great progress has been made in the selection of suitable strains of grasses and clovers and in methods for establishing the leys. There has, however, been a singular lack of experiments on the effects of leys on the productivity of the land for tillage crops. Such questions as the optimal length of ley are much discussed but very rarely tested. This is more serious than it may appear at first sight. It may be argued that practical farmers can settle these questions in their own ways, but the soil chemist and soil physicist are quite unable to obtain satisfactory soil samples for studying the effects of leys on soil properties unless they have access to plots on which controlled treatments have been tested for a number of years.

One attempt to deal with this problem was commenced at Woburn in 1938. Five blocks of land were used, one for each of the phases of a set of five-course rotations. Four alternative cropping systems were employed for three years and then their effects on soil fertility were measured by test crops of potatoes followed by barley. Half of the test potato plots had farmyard manure.

Unless a very large number of plots are used such experiments cannot give much accuracy in a single season but, if the experiments are properly planned, they will become steadily more accurate at the years go by and provide average results over a range of weather conditions. Table 7 gives some preliminary results over five seasons from one test crop of potatoes on each of five blocks of the experiment. It shows that the crops after three-year leys were higher than those after three tillage crops, that land without dung after leys gave about the same yield of potatoes as land with dung after cultivated crops, and that the effects of farmyard manure were least where there had been three years of ley grazed by animals. These results must be regarded as preliminary; they are given merely to indicate how such difficult questions as the effects of different kinds of ley on soil fertility can be tested in field experiments.

Effect of leys and green manures on soil structure at Serere, Uganda.

An experiment on somewhat similar lines to the Woburn ley experiment was started at Serere, Uganda in 1937. The experiment was based on a five-year cropping rotation in which one, two or three years of cropping were replaced by either leys or green manures. On some of the plots the long grass and green manures were cut or lopped occasionally to simulate grazing, and on others the cover was left to grow unchecked. It was proposed to measure the effects on soil fertility by the crop yields—mainly cotton—in the fourth and fifth season of the rotation. Yield data have not yet been published but W.-S. MARTIN (1944) has shown that resting under tall grass effected a pronounced improvement in soil structure. He has illustrated this by photographs and also by the results of wet sieving tests, which are summarised in Table 8.

Resting under grass gave definitely better soil structure than resting under green manure crops. Increasing the period under rest, and thereby reducing the period under cover, greatly increased the proportion of water stable-crumbs. The length of the resting period was more important than the kind of resting.

This experiment brings out very clearly the regeneration of soil structure under a resting cover and the deterioration under cultivation. There seems good reason to ascribe the benefits from resting under tall grass, at least on soils heavy enough to form stable crumbs, to the direct action of grass roots and the freedom from disturbance and exposure by cultivation. Although soil analyses might have shown that the organic matter contents of the soil were increased by the grass roots, it would be dangerous to ascribe the benefits from resting under grass merely to increased organic matter contents. Parallel experiments at Serere and elsewhere showed that dressings of farmyard manure, cotton seed or green manure had negligible effects on soil structure.

Experiments on length of ley, bush fallow and shifting cultivation.

Both the Woburn and the Serere experiments were simplified to a fixed total length of rotation in order that the experiments could be fitted into five main blocks, one for each phase of the rotations every year. This restriction means that increasing the period of rest automatically shortens the period of cultivation. Many questions will not allow this simplification. It is often desirable to know what length of ley is required to make a substantial improvement in soil structure and how long a soil may be subjected to repeated cultivations without

endangering its structure and fertility. This requires different periods under ley and also different periods under tillage. It is not sufficient to start the leys at the same time and then follow them by tillage crops because the measurements would not be comparable. Thus, in a simple example the first tillage crops after three-year ley would be compared with the second tillage crop after two-year ley and third tillage crop after one-year ley. It would be impossible to distinguish any improvement by ley from any deterioration under tillage. All phases of all rotations should occur every season after the preliminary years. Thus with combinations of two or three years under ley with two or three years under tillage there would be 20 phases or treatments. An experiment of this general pattern has been in progress since 1931 at the Gezira Research Farm, Wad Medani (F. CROWTHER et W.-G. COCHRAN, 1942). On a heavy alkaline soil irrigated cotton is grown in rotation with fallows or food crops. The problem is to find the best length of rotation and the best position of the food crops. The rotations are :

continuous cotton	C
two-course	CF, CG
three-course	CFF, CGF, CFG
four-course	CFFF, CGFF, CFGF, CFFG

where C is cotton, F fallow and G food crops. There are 30 main treatments each repeated five times on 150 plots. In the food crop year the plots are halved for the contrast between sorghum and a bean crop (lubia) making 300 plots in all.

Experiments along these lines are greatly needed in other parts of the tropics and sub-tropics where organic matter and structure are rapidly lost and soils are subject to erosion. The African peasant abandons his clearing when yields fall and makes a new one. In this way he attains only a low level of subsistence, but at least he conserves his soils. Under the influence of European contacts and increasing pressure on the land, he is now apt to cultivate more land, especially where he can obtain a plough, and to rest his land for shorter periods. The Departments of Agriculture in many colonies are endeavouring to design new systems of agriculture based on using bullocks for ploughing and for producing manure. It seems to be commonly assumed that a few tons of farmyard manure per hectare will maintain and improve soil fertility, but it can scarcely be claimed that suitable experimental work has yet been done to justify this assumption. The effects of shifting cultivations are not sufficiently well understood. Although cultivation may exhaust soil organic matter and expose the surface soils to the risk of erosion, it does not follow automatically that the main benefit from bush fallow is to add organic matter to the soil. Bush

fallows may bring to the surface plant nutrients which have been leached to deeper horizons or liberated there by weathering. If this should prove to be the case, the objective in designing alternative systems of farming should be to rest the land from cultivation as often as necessary and to bring from the bush or waste land any loppings or other vegetable matter likely to provide available nutrients. In some parts of Africa it is still necessary to repeat the original experiment of Lawes and Gilbert to compare farmyard manure with its ash or with fertilizers comparable with its ash. It is known in one of the wetter parts of Nigeria that the benefits from green manure are not reduced if the crop is burnt and the ash returned, and in one of the drier parts that the striking effects of farmyard manure on cotton can be equalled by a light dressing of superphosphate supplying the same amount of phosphate.

Although the effects of organic manures cannot always be ascribed to the plant nutrients, the possible effects of the organic matter as such cannot possibly be measured or demonstrated unless steps have been taken to allow for the direct effects of the plant nutrients in the manures. These aspects of the study of soil organic matter require field experiments which may seem complicated by the modest standards to which most of us have been accustomed hitherto, but the technique of field experimentation is developing rapidly. The pressing need is to use it.

Références.

- CROWTHER, E.-M. (1936). — "The soils of the Woburn Plots" Part IV of "Fifty years of Field Experiments at the Woburn Experimental Station" by E.-J. Russell and J.-A. Voelcker.
- (1945). — "Fertilizers during the war and after" Bath and West Pamphlet No. 13. 51 pp.
- CROWTHER, E. M. and YATES, F. (1941). — "Fertilizer Policy in war time — The fertilizer requirements of arable crops". *Empire J. Exptl. Agric.* Vol. 9, pp. 77-97.
- CROWTHER, F. (1947). — "A review of experimental work". Chapter 20 in J.-D. Tothill, "Agriculture in the Sudan" (in the press).
- CROWTHER, F. and COCHRAN, W.-G. (1942). — "Rotation experiments with cotton in the Sudan Gezira". *J. Agric. Sci.* Vol. 32, pp. 390-405.
- DORPH-PETERSON, K. (1946). — "Experiments on farmyard manure and fertilizers at Lyngby, 1910-1942". *Tidsskrift for Planteavl*, Vol. 50. No 4, pp. 555-616 (in Danish).
- MARTIN, W.-S. (1944). — "Grass covers in their relation to soil structure". *Emp. J. Exptl. Agric.* Vol. 12, pp. 21-32.
- RUSSELL, E.-J. and WATSON, D.-J. (1940). — "The Rothamsted field experiments on winter wheat". *Tech. Comm.* 40. Imp. Bureau of Soil Science.

TABLE 1 AND FIG. 1 :

Nitrogen percentages of Broadbalk Soils, Rothamsted 1856-1945
(as percentages of air-dry fine soil 0-23 cms.)

Continuous wheat 1843 to 1925 and subsequently unmanured fallow every fifth year.

Annual additions of farmyard manure (Plots 2A and 2B) :
35 metric tons per ha. containing 224 kg. N.

Annual additions of inorganic nitrogen (Plot 7) :
96 kg. N per ha.

Plot	3	5	7	2B	2A
Manuring	None	PK	NPK	Farmyard manure from 1843	Farmyard manure from 1885
Mean yield of grain (1852-1925) metric tons per ha.	0.84	0.98	2.21	2.44	2.05
					(1900-1925)
Nitrogen percentage of soil in :					
1865	0.105	0.106	0.117	0.175	—
1881	0.101	0.107	0.121	0.184	—
1893	0.094	0.101	0.115	0.213	0.136
1914	0.093	0.103	0.115	0.251	0.191
(after fallow every fifth year).					
1936	0.103	0.105	0.120	0.226	0.186
1945	0.105	0.106	0.123	0.236	0.194

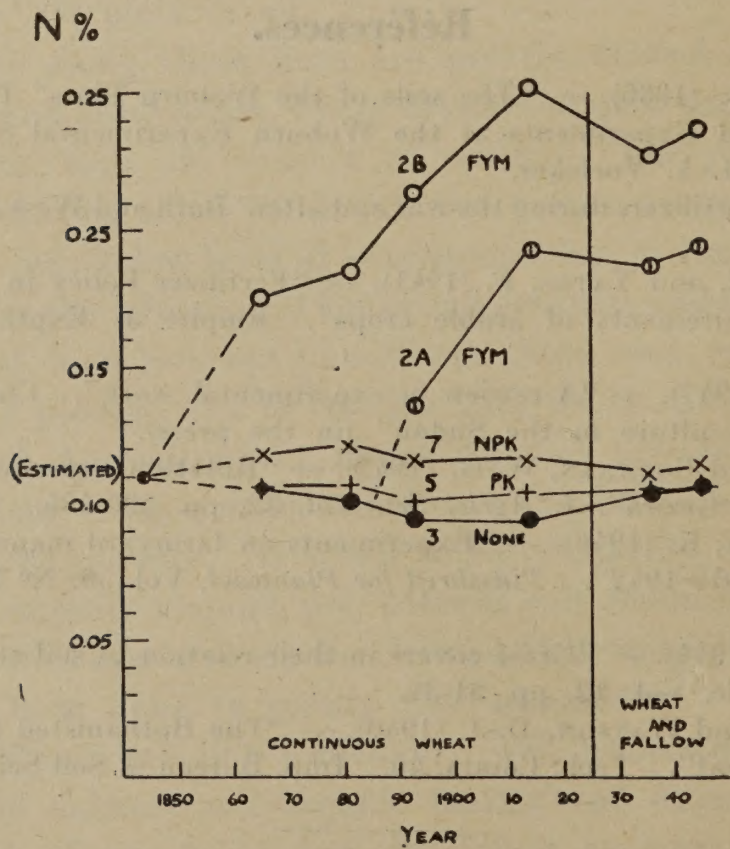


Fig. 1.

TABLE 2 AND FIG. 2 :

Nitrogen contents of Broadbalk Soils, Rothamsted (metric tons per ha).

Gain over unmanured plot in relation to amount of nitrogen previously added as farmyard manure.

PLOT 2B				PLOT 2A			
	Gain	Added	Gain as % of added		Gain	Added	Gain as % of added
1865 . . .	1.8	4.9	37	—	—	—	—
1881 . . .	2.1	8.5	25	—	—	—	—
1893 . . .	3.0	11.2	27	1893 . .	1.0	2.0	50
1914 . . .	4.0	15.9	25	1914 . .	2.5	6.7	37
1936 . . .	3.1	20.2	15	1936 . .	2.1	10.7	20
1945 . . .	3.3	22.4	15	1945 . .	2.2	12.9	17

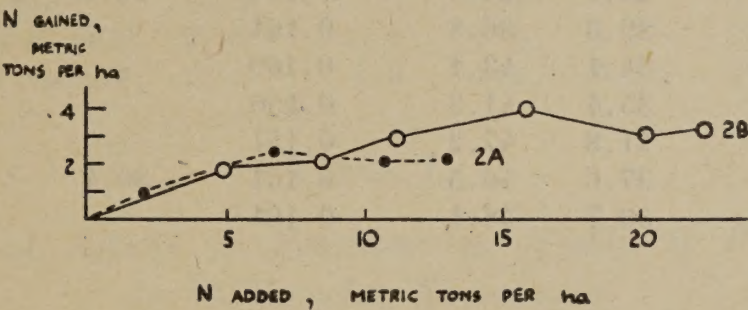


Fig. 2.

TABLE 3 AND FIG. 3 :

Nitrogen percentages of Woburn Soils 1876-1932
(as percentages of air-dry fine soil 0-23 cm.)

1877-1926, continuous wheat or barbey
1927-1932, unmanured and two fallows
Farmyard manure (F. Y. M.) supplied annually :
1877-1906 118 kg. N per ha.
1907-1926 92 kg. N per ha.
1927-1932 none

Continuous wheat or barley			Rotation plots
Year	with F. Y. M.	No F. Y. M.	
1876	0.156	0.156	1867 0.156
1888	0.166	0.135	1886 0.150
1898	—	0.124	1899 0.136
1927 (after fallow).	0.148	0.103	—
1932	0.124	0.099	1932 0.106

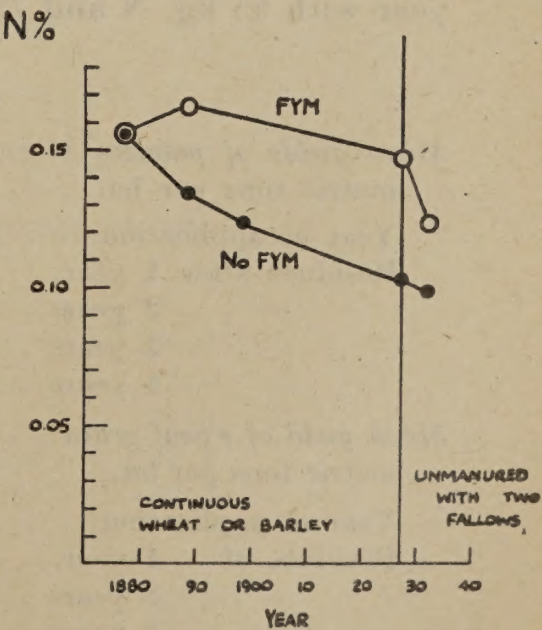


Fig. 3.

TABLE 4 :

*Crop Yields and Soil Nitrogen Contents in Lyngby
Rotation Experiments 1910-1942.*

Rotations : 1910-1921 Rye, barley, mangolds, oats, clover, clover.

1922-1942 Potatoes, barley, mangolds, oats, clover, rye.

Manurial dressings as average rates per annum (1910-1933).

Rate 1 = 11.0 metric tons farmyard manure

and 1.8 metric tons liquid manure per ha.

containing 78 kg. N, 34 kg. P_2O_5 and 75 kg. K_2O per ha.

No organic manures after 1933.

All yields in hkg. food units per hectare.

Rate of manuring 1910-1933		Mean Annual Yields		Nitrogen percentage of soil 1933	Residual effects 1934-1942 Yields with fertilizer at rate		
Farmyard Manure	Fertilizers only	1910-1921	1922-1933		0	$\frac{1}{2}$	1
0	0	21.8	21.6	0.146	20.1	—	—
0.5	0	29.3	36.8	0.161	—	43.1	—
1	0	34.1	43.1	0.169	—	45.8	—
0	0.5	35.4	41.3	0.150	—	42.2	—
0	1	41.8	47.2	0.151	—	—	50.8
0.75	0.25	37.6	46.5	0.161	30.4	—	—
0.5	0.5	39.7	48.1	0.161	—	45.2	—

TABLE 5 :

*Residual value of organic manures, Hoos Field,
Rothamsted, 1932-1945.*

Rotation : Wheat, potatoes, barley, ryegrass.

Farmyard manure or straw (with extra fertilizers) every fifth year
supplying 226 kg. N, 151 kg. P_2O_5 , 377 kg. K_2O per ha.

Superphosphate or mineral phosphate 151 kg. P_2O_5 per ha. every fifth
year with 45 kg. N and 75 kg. K_2O annually.

Mean yields of potatoes metric tons per ha.		Manures applied every fifth year		Phosphates applied every fifth year (one fifth NK annually)	
		Farmyard manure	Straw + fertilizers	Super- phosphate	Mineral phosphate
Year of application.		14.9	16.1	16.2	10.5
Residues after 1 year.		11.8	11.8	12.9	10.5
— 2 years		11.4	12.0	13.4	10.7
— 3 years		10.8	10.8	13.5	11.4
— 4 years		10.2	10.5	12.8	10.3

Mean yield of wheat grain
metric tons per ha.

Year of application.		2.84	3.17	2.55	2.46
Residues of 1 year.		2.37	2.26	2.55	2.56
— 2 years		2.18	2.35	2.55	2.55
— 3 years		2.14	2.21	2.57	2.64
— 4 years		2.01	2.08	2.55	2.48

TABLE 6.

Rothamsted single-year potato experiments 1940-1945.

Experiments on a new site each season.

Rates of application :

Normal farmyard manure, . . .	20 and 40 metric tons per ha.
Strawy farmyard manure . . .	21.5 and 43 metric tons per ha.
Fertilizers N	75 kg. per ha.
	P ₂ O ₅ 75 kg. per ha.
	K ₂ O 126 kg. per ha.

Potato yields in metric tons per ha.

	General Mean Yield	Mean Response to fertilizers			Mean Yields	
		N	P	K	No NPK	With NPK
No farmyard manure . .	18.2	2.9	1.4	7.6	12.2	24.3
Normal farmyard manure.	27.2	3.1	1.5	1.1	24.4	30.4
Strawy farmyard manure.	27.2	4.0	1.4	0.9	24.2	30.0

TABLE 7 :

*Residual Effects of Rotations on Yields of Potatoes
in Woburn Ley Experiment.*

Experimental treatments	1st year	Potatoes	Potatoes	Three	Three
	2nd year	Wheat	Wheat	years'	years'
	3rd year	Sugar beet	Hay	grazed ley	lucerne hay
<i>Yield of potatoes (1941-1945) metric tons per ha.</i>					
Without farmyard manure .	25.1	28.1	31.9	30.4	
Whit farmyard manure . .	30.6	31.6	33.1	35.1	
Mean	27.9	29.9	32.6	33.1	

TABLE 8 :

Soil Fertility Experiment, Serere, Uganda.

Water-stable particles over 0.5 mm. as percentage of soil.

Type of cover :

Green manure, lopped.	36.8
Green manure, dug in.	36.9
Planted grass, lopped	39.0
Planted grass.	39.1
Natural weeds and grass.	39.2

Period of resting

1 year (4 years' cultivation)	35.6
2 years (3 years' cultivation)	36.9
3 years (2 years' cultivation).	42.0

PALÉO-SOLS ET SOLS DUS A L'ÉVOLUTION ACTUELLE

Leur importance relative en pédologie théorique et appliquée.

Par Bernard GÈZE.

Professeur à l'École nationale d'Agriculture de Montpellier.

Sommaire.

I. — *Le problème de la distinction des paléo-sols et des sols dus à l'évolution actuelle :*

- 1° Exemple des sols du Cameroun occidental;
- 2° Exemple des formations rouges du Bas-Languedoc.

II. — *L'importance pratique des paléo-sols et de la tendance évolutive actuelle :*

- 1° Importance des paléo-sols;
- 2° Importance de la tendance évolutive actuelle.

III. — *L'âge des sols et les cartes pédologiques :*

- 1° Cas des cartes à petite échelle.
- 2° Cas des cartes à grande échelle.

Conclusions.

I. — LE PROBLÈME DE LA DISTINCTION DES PALÉO-SOLS ET DES SOLS DUS A L'ÉVOLUTION ACTUELLE.

Les pédologues ont maintes fois signalé l'existence de sols anciens, datant d'une époque plus ou moins reculée.

Ainsi, ERHART (1) et FRANC DE FERRIÈRE (2) ont décrit dans le loess d'Alsace, une succession de sols enterrés, recouverts chacun par une nouvelle couche loessique au cours du Quaternaire. De tels profils sont absolument parlants et permettent de reconstituer l'histoire récente des climats dans cette région. Sans doute, aucun pédologue n'ignore ces faits, mais il est curieux de constater que rares sont ceux qui ont songé que l'invasion loessique, cause de la fossilisation des sols anciens, n'est en quelque sorte qu'un accident. Ces mêmes sols auraient tout aussi bien pu rester en surface. Ils n'en auraient pas *nécessairement* perdu pour cela leur caractère de « paléo-sols », c'est-à-dire de sols de formation

(1) ERHART (H.), *Traité de Pédologie*, t. I, 1935.

(2) FRANC DE FERRIÈRE (J.), *Géologie et Pédologie*. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace. Strasbourg. Impr. Alsacienne, 1937.

ancienne ne correspondant plus aux possibilités actuelles de l'évolution pédologique dans le lieu où ils se trouvent conservés (1).

En effet, de tels paléo-sols ne sont pas des raretés à la surface de la terre. Leur distinction d'avec les sols dus à l'évolution actuelle est parfois délicate mais fort instructive et utile. Elle nécessite en tout cas une étude pédologique précise, dans laquelle la géologie pure tient une large part.

Pour illustrer ces propositions, je prendrai comme exemples les formations superficielles de deux régions que j'ai pu observer moi-même.

1^o Exemple des sols du Cameroun occidental (2).

Au cours d'une mission effectuée en 1939, j'ai eu l'occasion d'étudier sommairement les sols des régions de montagnes volcaniques, de plateaux granito-gneissiques et de plaines sédimentaires, situés au voisinage de la frontière occidentale du Cameroun, à peu près sous l'équateur thermique, reporté ici vers 5° de latitude nord.

La conclusion principale à laquelle je suis arrivé est que les formations superficielles sont d'autant plus épaisses et plus latéritiques qu'elles recouvrent des terrains plus anciens.

Sur le socle granito-gneissique, d'âge non défini mais probablement antécambrien, les argiles latéritiques acquièrent une très grande puissance, plusieurs dizaines de mètres au moins.

Sur les sédiments antérieurs aux couches fossilifères d'âge crétacé supérieur (argiles et calcaires), l'épaisseur de l'argile semble plus réduite : 2 à 4 mètres environ.

Par contre, sur les roches volcaniques anciennes (basaltes et andésites, d'âge crétacé supérieur ou tertiaire inférieur), on retrouve des épaisseurs de 20 mètres au-dessus de la roche-mère.

Toutes ces formations sont franchement latéritiques. Il s'agit d'argiles généralement sableuses et jaunâtres, avec traînées rouges dans l'horizon inférieur, d'argiles rouges vers le haut où elles s'enrichissent en concrétions de limonite. Nulle part cependant je n'ai vu de véritable cuirasse latéritique, comme il s'en forme actuellement dans les zones tropicales humides (Guinée, Madagascar), mais seulement le type d'argile à grenaille.

Sur les argiles, sables, grès et conglomérats du Tertiaire existe une autre formation latéritique, beaucoup moins distincte celle-ci. On assiste plutôt à une sorte d'imprégnation ferrugineuse de l'ensemble

(1) Ma définition s'oppose à la conception restrictive des auteurs qui réservent le terme de paléo-sol aux seuls sols enterrés, ou sols fossiles.

(2) Voir le détail de mes descriptions dans : « Observations sur les sols du Cameroun occidental », *Ann. agronomiques*, t. 12, n° 1, 1942, p. 103 et « Géographie physique et Géologie du Cameroun occidental, *Mém. Muséum Nat. d'Hist. nat.*, t. 17, 1943.

du terrain qu'à une véritable évolution pédologique. Ce ne sont probablement pas des latérites au sens propre, mais des « latéritites » selon la définition de LACROIX, c'est-à-dire des formations sédimentaires faites à partir d'éléments latéritiques antérieurs, remaniés par les cours d'eau et redéposés sur les zones basses du continent, ou en bordure immédiate de celui-ci.

Les roches éruptives de la fin du Tertiaire (série trachytique) sont à peine altérées et celles du Quaternaire (série basaltique supérieure récente et actuelle) ne le sont sensiblement pas. Dans tous les cas, pas plus que les sables côtiers et les mangroves à palétuviers, elles n'ont donné des sols latéritiques.

Il semble donc que les latérites du Cameroun occidental sont toujours des formations anciennes pouvant être datées stratigraphiquement. Une première époque de latéritisation remonte au moins au Crétacé. Elle s'est poursuivie pendant le Paléogène, mais les roches de cette époque n'ont pas eu le temps de donner des sols aussi évolués que celles, plus anciennes (socle granito-gneissique), qui sont restées soumises aux influences métasomatiques à la fois pendant le Crétacé et le Tertiaire.

A la fin du Tertiaire, et peut-être au début du Quaternaire, il convient seulement d'admettre une tendance pédologique aboutissant à la conservation de latérites plutôt qu'à la formation de nouvelles latérites véritables.

Enfin, à l'époque actuelle, l'évolution des sols vers des types latéritiques paraît avoir complètement cessé.

Ces faits ont une grande importance du point de vue de la pédologie théorique. On ne saurait, en effet, admettre, avec la plupart des auteurs, que les latérites se forment actuellement sous l'équateur (1). Il s'agit certainement d'un type de sol dont la genèse nécessite l'alternance de saisons sèches très accentuées et de saisons des pluies assez fortes (2), ce qui est le cas à mi-chemin entre l'équateur et les tropiques, dans les zones soudanaise et guinéenne par exemple. Au contraire, le climat équatorial franc, presque dénué de saisons sèches, ne paraît pas entraîner une telle évolution, puisque les solutions de sels de fer ne peuvent avoir aucune tendance à remonter vers les horizons supérieurs du sol.

En un mot, nous retiendrons que sous l'équateur la tendance évolutive actuelle n'est pas latéritique et que les latérites que l'on y trouve

(1) Voir par exemple la carte schématique des sols du monde, par K.-D. GLINKA, révisée par V. AGAFONOFF (*Les Sols de France au point de vue pédologique*, Paris, Dunod, 1936).

(2) A cet égard, on ne peut admettre le schéma donné par OUDIN (« La Pédologie, son objet, ses méthodes, son intérêt agronomique », *Bull. Ass. Fr. Étude du sol*, t. III, n° 4, 1937, p. 287), qui situe les principaux types de sols comme des fonctions linéaires de la température et de la pluviosité. Il suffit de songer que le même indice d'aridité de Em. DE MARTONNE
$$\left(\frac{\text{Précipitations annuelles}}{\text{Température moyenne} + 10^{\circ}} \right)$$
 caractérise à la fois les sols latéritiques et les sols de toundras (40 dans les deux cas).

doivent être regardées comme des paléo-sols, preuves d'un ancien climat à saisons alternantes.

2^o Exemple des formations rouges du Bas-Languedoc.

On a certainement écrit autant sur la « terra rossa » et les « sols rouges méditerranéens » que sur les latérites, mais les interprétations proposées ne semblent pas avoir été toujours d'un égal bonheur (1).

En premier lieu, la conception encore généralement admise, suivant laquelle le climat méditerranéen actuel serait générateur d'une évolution vers un type de sols rouges, me semble dénuée de tout fondement.

Je baserai cette opinion personnelle sur un rapide examen des principales formations rouges du Bas-Languedoc, afin de préciser leur âge et leur genèse (2). Dans cette région, nous trouvons des formations rouges, successivement :

a) En certains points, à la surface des terrains anciens, schisto-gréseux, d'âge antécambrien et primaire, dans les Cévennes, l'Albigeois cristallin et la Montagne Noire;

b) Dans les terrains permien, « rougier » du Camarès, « ruffes » du Lodévois, et dans une partie des terrains triasiques;

c) Dans les formations bauxitiques, d'âge crétacé;

d) En plusieurs niveaux, stratifiés, de la base et du sommet des séries continentales paléogènes;

e) A la surface et dans les cavités souterraines des régions de « causses » et de « garrigues », formées de calcaires compacts d'âge jurassique, crétacé et paléogène;

f) Dans les terrains pliocènes et, plus rarement, quaternaires.

Quelles sont la nature et l'origine de ces formations rouges?

a) *Formations rouges à la surface des terrains anciens.*

Dans le premier cas, il s'agit d'une altération des terrains au voisinage seulement de l'ancienne surface, plus ou moins aplanie, qui s'est établie après érosion de la chaîne hercynienne, antérieurement au Trias.

Le fait est spécialement net au voisinage des affleurements des grès blancs triasiques, qui recouvrent manifestement les zones altérées dans les schistes anciens (3). Cette altération paraît analogue à celle que l'on

(1) P. MARCELIN est, pour notre région, le premier auteur qui ait distingué les *terres* rouges, qui constituent en réalité des roches-mères pour les sols quaternaires, et les *sols* rouges, résultats d'éventuelles évolutions pédologiques récentes, sur roches mères variées (*Bull. Soc. Ét. Sc. nat. Vaucluse*, nos 1, 2, 3, 1941).

(2) Un essai partiel analogue a été fait par P. MARCELIN (« Essai de classification des formations rouges du Gard et des régions limitrophes », *Bull. Assoc. Fr. Étude du sol*, t. II, n° 2 1936, p. 97).

(3) Cette altération est d'ailleurs précieuse pour reconstituer l'ancienne étendue de la surface anté-triasique là où les sédiments du Trias n'ont pas été conservés. Elle a été figurée localement sur la feuille géologique de Rodez. Je l'ai personnellement étudiée sur les feuilles de Sévérac, Alès, Saint-Affrique, Bédarieux, Castres et Albi.

voit dans les séries schisto-cristallines actuellement latéritisées en Afrique. Elle peut être assez profonde, plusieurs dizaines de mètres au moins, et semble avoir donné aussi des argiles rouges, parfois à grenaille de fer, localement conservées.

Son âge est relativement difficile à préciser. Il est certainement postérieur à la phase hercynienne majeure (post-viséenne), pour la plus large part encore postérieur à la dernière phase hercynienne (post-autunienne) et anté-triasique, donc essentiellement permien moyen et supérieur.

b) *Formations rouges du Permien et du Trias.*

Le deuxième cas de formations rouges, celles du Permien, confirme d'ailleurs cette manière de voir. Au-dessus des dépôts généralement sombres, très exceptionnellement rougeâtres, des grès et schistes stéphanien et autunien, où les accumulations de végétaux, qui ont donné la houille, traduisent sans doute un climat équatorial et une vie végétale analogue à celle des mangroves, viennent les grès plus ou moins argileux et pélites, de couleur rouge à lie-de-vin, du Saxonien.

Il est certain que, postérieurement aux derniers mouvements tectoniques de la phase hercynienne, le paysage morphologique s'est rapproché d'une vaste pénéplaine, où les régions de plateaux subissaient l'altération de caractère tropical humide mentionnée ci-dessus, tandis que les creux topographiques étaient comblés par des sédiments d'origine essentiellement fluvatile, provenant du démantèlement de ces zones élevées et surtout de leur surface altérée. Il régnait sans doute à cette époque un climat analogue à celui des actuelles zones soudanaise et guinéenne (brousse et savane), avec saisons sèches et humides alternantes (1).

Le comblement des dépressions post-hercyniennes ne semble pas avoir été absolument complet au Permien. Lors de la transgression triasique, l'arrivage de sables et argiles rouges remaniés s'est encore un

(1) Malgré l'admiration et le respect que l'on éprouve en présence de l'œuvre de M. GIGNOUX, il ne semble pas possible d'admettre l'opinion exprimée par cet auteur tout au long de son *Traité de Géologie stratigraphique*, quand il considère que les formations rouges sont caractéristiques d'un climat désertique. Le « vernis du désert » ne ressemble en rien à des accumulations d'argiles et grès rouges qu'aucun auteur n'a jamais signalé dans le Sahara, sauf en des points très localisés où il s'agit de sols fossiles, traces d'un ancien climat non désertique. Il faut parler plutôt de climats tropicaux humides expliquant la tendance latéritique et les accumulations de sédiments fluviaux ou marins proches d'un littoral. Ce caractère peut se trouver soit entre la zone tropicale sèche (désertique) et la zone équatoriale, soit entre la zone tropicale sèche et la zone tempérée. Nous verrons que, suivant les époques, il convient d'admettre l'une ou l'autre de ces interprétations. Pour le Permien moyen (Saxonien), la première paraît la plus vraisemblable, à la suite d'une atténuation des conditions équatoriales du Carbonifère. Cependant l'évolution continuant dans ce sens, il est exact qu'on arrive à de vraies conditions désertiques au Permien supérieur (Thuringien) caractérisé par ses facies d'évaporation (gypse et sels alcalins).

J. BOURCART a d'ailleurs déjà souligné l'invraisemblance de l'opinion de M. GIGNOUX, en ce qui concerne les formations rouges, tout en rendant justice, par ailleurs, aux belles reconstitutions paléogéographiques de ce maître (*Essai sur les régressions et transgressions marines Bull. Soc. Géol. fr.* (5), t. VIII, 1938, p. 420).

peu poursuivi pendant une grande partie de cette période, partout où les facies prouvent une faible profondeur marine (type « germanique », par opposition au type « alpin », de caractère partiellement géosynclinal), ce qui est le cas pour nos régions languedociennes. Il est d'ailleurs possible que les facies rouges soient alors liés au fait même de la transgression, ainsi que cela est démontré pour d'autres niveaux (1).

c) *Formations rouges bauxitiques du Crétacé.*

Le troisième cas principal de formations rouges se rencontre beaucoup plus tard dans la série stratigraphique, au cours du Crétacé. En effet, le Bas-Languedoc est resté émergé entre le Crétacé inférieur (niveaux variables suivant les endroits) et le Cénomanién ou même le Crétacé terminal. A cette époque, les argiles résiduelles, conservées dans les creux des calcaires jurassiques et urgoniens grossièrement aplanis, soumises à un climat tropical humide, ont évolué vers un type voisin des latérites en donnant des argiles bauxitiques et des bauxites (hydrate d'alumine). Cette évolution se produit encore actuellement dans la zone guinéenne des latérites où les gisements à caractère bauxitique ne sont pas rares. Inversement, les bauxites crétacées sont fréquemment riches en fer et se rapprochent alors des latérites, ce qui assure l'exactitude du raisonnement ci-dessus, devenu d'ailleurs classique, pour expliquer leur genèse, à la suite des travaux de J. DE LAPPARENT (2).

d) *Formations rouges du Crétacé supérieur et du Paléogène.*

Ultérieurement, les formations rouges deviennent assez nombreuses au cours du Crétacé supérieur et de la première moitié du Tertiaire. J'indique seulement ici les plus importantes :

La base de la transgression cénomaniénne (peut-être commencée déjà à l'Albien supérieur) est soulignée dans la partie orientale du département du Gard par des grès grossiers de teinte vive ou des sables et des grès rouges lustrés (Étage « Tavien » d'Emilien DUMAS) (3). Il est encore possible que l'on ait affaire au remaniement de formations superficielles altérées, cependant leur étude pétrographiques précise est à faire, de telle sorte que l'on ne peut rien affirmer avec certitude.

(1) Voir à ce sujet les intéressantes hypothèses émises par J. BOURCART (Les « Pénéplaines » du Maroc et du Sahara, *Recueil E.-F. Gautier*, 75 pages, 1937),

(2) J. DE LAPPARENT, « Les Bauxites de la France méridionale », *Mém. Serv. Carte géol. France* 1930.

Il est assez surprenant de voir des travaux récents revenir, sous une autre forme, aux hypothèses hydrothermales anciennes : J. BORDAS (*Ann. Agronomiques*, 1, 1937 et « Essai de Pédologie méditerranéenne », *Monographies Recherches Agro.*, 1943) parle d'une origine « télémagmatique » des bauxites. C.-L. SAGUI (« La Genèse des bauxites », *Bull. Assoc. Fr. Étude du sol*, t. III, n° 1, 1937) dit que « le développement de ces bauxites en profondeur semble bien exclure une origine superficielle » et parle de « filons-couches » de bauxites. Ces conceptions, proches de celles des anciens géologues qui ignoraient le phénomène de la latéritisation ou l'existence des complications tectoniques, ne peuvent plus être retenues actuellement.

(3) Remarquons que les feuilles géologiques du Vigan et d'Avignon manifestent des divergences pour l'âge de ces niveaux et que leur raccord est assez pénible.

Les dernières assises crétacées et celles du début de l'Eocène renferment un grand nombre de sables et argiles rouges, ainsi que des calcaires rosés (Rognacien). Ce sont des dépôts continentaux dont les rares fossiles semblent indiquer un climat chaud et humide, sans doute subtropical (les cocotiers ont vécu pendant le Crétacé supérieur et une grande partie du Tertiaire jusqu'au nord de Paris). Ils recouvraient largement les terrains secondaires dont l'aplanissement paraît avoir été fort poussé. Dans les environs de Montpellier on peut ainsi constater le comblement par des argiles de décalcification, puis par les sables paléogènes, des fissures d'un lapiaz dans le calcaire jurassique.

Après la phase de dépôt des calcaires lutétiens lacustres (marins seulement dans le Mivernois), puis la surrection des chaînons « pyrénéens » qui ont donné l'essentiel de son relief à notre région, les facies rouges continentaux redeviennent la règle. On assiste, comme au Permien après la surrection hercynienne, à l'aplanissement des reliefs et au comblement de toutes les dépressions tectoniques par des formations résiduelles grossières, parmi lesquelles la part des argiles rouges de décalcification est considérable.

Un type assez spécial de sédiment s'est déposé à ce même moment (Eocène supérieur et peut-être début de l'Oligocène) dans les gouffres et les grottes du Gard (Saint-Maximin, Tavel, etc...) ainsi que de la région montpelliéraine (Bouzigues, Sète, Frontignan). Je veux parler d'argiles rouges riches en phosphate de chaux, ayant donné au contact du calcaire les concrétions phosphatées dites « phosphorites ». J'ai montré que dans ces contrées, comme dans le Quercy où elles sont encore mieux représentées, elles se sont formées sous l'influence d'une évolution de caractère latéritique des argiles de décalcification, dites « sidérolitiques », qui étaient antérieurement largement répandues à la surface des plateaux calcaires (1).

De même sur la bordure du golfe tertiaire du Castrais, à l'ouest de l'Albigeois schisto-cristallin et de la Montagne Noire, se sont accumulées de grandes épaisseurs d'« argiles à graviers » rouges, dont l'âge peut aller sans doute du Crétacé supérieur à la fin de l'Oligocène, avec seulement une interruption locale pour le dépôt des « calcaires de Castres » (Lutétien).

Ce sont les résidus, probablement entraînés par des fleuves à lit peu défini, de toutes les formations superficielles résultant de l'altération des pénéplaines tertiaires établies sur les reliefs anciens encore exactement comme au Permien avant la transgression triasique.

(1) B. GÈZE, « Contribution à la connaissance des phosphorites du Quercy », *Bull. Soc. Géol. Fr.* (5), t. VIII, 1938, p. 123-146; « Sur les phosphorites du Bas-Languedoc », *id.*, t. X, 1940, p. 87-94.

e) *Formations rouges de décalcification.*

Indépendamment de ces divers dépôts, ressortissant plus ou moins étroitement de la pure stratigraphie, il faut signaler la formation quasi-constante au cours des temps géologiques, dans toutes les régions de « Causses », c'est-à-dire de calcaires massifs émergés d'âges variés, d'accumulations, les unes superficielles (dans les vallées sèches et les dolines), les autres en profondeur (dans les cavités karstiques), d'argiles rouges de décalcification, plus ou moins mélangées à des éléments résiduels transportés par les eaux courantes.

Ce seront les « argiles à silex », provenant des craies du Bassin Parisien, les « argiles à meulières », issues des calcaires lacustres meuliérisés de Brie et de Beauce, les « terres rouges » dans un sens relativement étroit, résultant de l'altération des calcaires cambriens, dévonien, surtout jurassiques, urgoniens et lutétiens du Languedoc (1).

Ce type de formation n'a pas d'âge précis. Il en existe sans doute de fort anciennes. Une large part du « Sidérolitique » paléogène peut certainement lui être attribuée et dans ce cas les mammifères de l'Oligocène que l'on y rencontre (gisement de phosphorite) permettent de la dater. Il faut cependant se méfier des fossiles eux-mêmes, qui indiquent seulement un moment d'accumulation ou de remaniement d'argiles souvent antérieures (2).

A cet égard, les ossements de *Bos*, *Ursus*, etc... trouvés dans les argiles rouges de la Colombière et de Castelnau-le-Lez, près Montpellier, qui fossilisent d'anciens lapiaz des calcaires jurassiques, ne prouvent pas, pour moi, l'âge quaternaire de leur formation, mais seulement peut-être un remaniement partiel à cette époque.

f) *Formations rouges du Pliocène et du Quaternaire.*

Il est cependant permis de se demander s'il n'existe aucune formation rouge résultant d'une évolution pédologique récente, pliocène ou quaternaire.

On a signalé des horizons ferrugineux, arrivant à provoquer la formation de ciment compact, au sein de cailloutis et de sables du Pontien et surtout du Pliocène. Par exemple, selon D. JARANOFF et G. ZBYS-

(1) Cette origine des terres rouges de nos régions a été indiquée pour la première fois à ma connaissance, d'une façon claire, par P. MARCELIN (« Terres et sols rouges des régions calcaires du Gard et du Vaucluse », *Bull. Soc. Et. Sc. nat. Vaucluse*, nos 1, 2, 3, 1941) et vulgarisée par J. BORDAS (« Essai de Pédologie méditerranéenne », *Mémoir. Rech. agronomiques*, Paris, 1943). Leur conception rejoint d'ailleurs, en la plupart des points, celle de W. HOLLSTEIN (« Contribution à la science du sol des pays méditerranéens », *Ass. intern. Sc. du sol*, Recherches sur le sol, n° 2, 1938).

(2) Ainsi DEPÉRET avait daté du Quaternaire les argiles phosphatées et les phosphorites du Gard en raison d'une faune quaternaire que l'on rencontre dans leur partie supérieure. J'ai pu montrer qu'elles dataient au moins de l'Oligocène supérieur car des fossiles de cet âge y avaient été antérieurement découverts et que dans l'Hérault des formations identiques renferment des chauves-souris de cet âge. Le problème s'était posé de la même façon dans les phosphorites du Quercy, dont l'âge n'est plus discuté actuellement.

ZEWSKI, il en existerait de remarquables dans le Villafranchien du Maroc et du Portugal (1). Chez nous, le Pliocène supérieur de la « Costière de Saint-Gilles » paraît en renfermer d'analogues. Nous ne pouvons mieux faire, à cet égard, que de renvoyer à l'excellente étude que vient de publier P. MARCELIN (2).

Le Quaternaire du Maroc comporte aussi de vrais sols rouges datant de la période acheuléo-moustérienne (3). Chez nous, où les études de Géologie du Quaternaire ne sont pas si avancées, il est difficile d'être affirmatif. D'après les observations de P. MARCELIN et la récente mise au point de J. BORDAS déjà citées, des sols rouges actuels existeraient dans le Gard et la région du bas Rhône, sur terrasses alluviales et sur loess quaternaires, mais il semble que la plus grande partie s'explique par le remaniement d'anciennes « terres rouges » formées bien antérieurement au Quaternaire.

Personnellement, les zones rouges que j'ai observées dans les terrains quaternaires me paraissent résulter plutôt de remaniements. Ainsi, depuis Montpellier jusqu'à Lunel, les vignes qui s'étendent au pied des petits coteaux sur lesquels fut tracée la Voie Domitienne, poussent sur un sol récent de couleur souvent très rouge. Mais on peut constater que cette teinte s'atténue et disparaît à mesure que l'on s'éloigne des coteaux, tandis que ceux-ci renferment des traces abondantes de « terres rouges », argiles de décalcification conservées dans les fentes des calcaires jurassiques et crétacés dans l'ouest et le centre, formations continentales de l'Eocène plus à l'est. Il est donc manifeste que l'on n'a pas affaire dans la plaine à une formation pédologique actuelle, mais seulement aux résidus rouges, d'âges variés, descendus des hauteurs voisines.

Un autre exemple curieux est celui des alluvions quaternaires dans la plaine de confluence de la Lergue et de l'Hérault, entre Aniane et Clermont-l'Hérault.

Ces alluvions sont franchement rouges en plusieurs grandes zones mais non partout. Sans avoir réalisé une étude très méthodique, je crois avoir reconnu qu'il existe quelques taches rouges dans le nord et l'est, au voisinage des causses jurassiques et lutétiens d'où peuvent venir des argiles de décalcification, mais surtout dans l'ouest, dès qu'on s'approche de la Lergue. La zone ancienne d'épandage de cette

(1) D. JARANOFF, « Évolution morphologique du Maroc atlantique pendant le Pliocène et le Quaternaire », *Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn.*, t. IX, 1936, p. 299-332.

Voir aussi l'essentiel des conclusions dans : J. BOURCART, « La marge continentale », *Bull. Soc. Géol. Fr.* (5), t. VIII, 1938, p. 393-475.

(2) P. MARCELIN, *Observations sur des terres et des sols en région méditerranéenne*. t. I. Terres et sols en Costière. Nîmes, 1947.

(3) Voir les travaux de JARANOFF et de BOURCART (note 2). Il semble d'ailleurs que leurs conclusions puissent être étendues à toute l'Afrique du Nord.

petite rivière devait s'étendre, en effet, au moins sur une dizaine de kilomètres de largeur et la couleur rouge de cette zone alluviale s'explique tout naturellement par le fait que la plus grande partie du bassin d'alimentation de la Lergue correspond à l'affleurement des terrains permien du Lodévois, où l'érosion a progressé avec une grande intensité.

Sous réserve des vérifications pétrographiques et analytiques indispensables, je crois donc qu'il n'y a parmi les terres rouges de cette haute plaine de l'Hérault que des formations remaniées et non des formations récentes dues à l'enrichissement en sels de fer d'un horizon pédologique superficiel.

Conclusions à l'étude des formations rouges du Bas-Languedoc.

En conclusion à cette longue description régionale, on peut dire que, si les divers faits que j'ai cités ne suffisent pas à ruiner entièrement l'hypothèse de l'existence de « sols rouges méditerranéens », types de sols climatiques actuels, qui sont incontestables dans d'autres régions comme l'Afrique du Nord, il est certain du moins que ceux-ci n'ont chez nous aucune importance réelle.

On doit être assuré que la couleur rouge, qui a frappé les premiers observateurs du Languedoc méditerranéen, est essentiellement celle de formations sédimentaires ou résiduelles d'âges très variés, allant au moins de la fin du Carbonifère jusqu'à la fin du Tertiaire. Ces formations paraissent résulter surtout d'évolutions superficielles de caractère plus ou moins latéritique, fréquemment sous climat tropical humide, à la surface de pénéplaines post-tectoniques, ainsi que d'accumulations locales de ces dépôts remaniés.

De tels types de roches sont aussi bien connus dans d'autres régions, mais tandis que le climat relativement humide du reste de l'Europe occidentale permet une végétation abondante, donc une couverture humifère et une évolution de sols superficiels qui masquent plus ou moins la couleur rouge de la roche mère, dans les régions méditerranéennes plus sèches, presque dépourvues d'une couverture végétale et de sols vraiment continus, et où l'érosion joue un rôle considérable, la couleur du substratum reste partout facilement visible (1).

Une raison supplémentaire, expliquant dans le Bas-Languedoc cette illusion de « sols rouges méditerranéens », est que, bien que très loin d'être les seules, les formations rouges résultant d'argiles de décalcification sont réellement assez répandues, puisque les terrains calcaires

(1) Cette observation reste valable quelle que soit la couleur de la roche mère. On a ainsi parlé de « sols jaunes méditerranéens », alors qu'il ne s'agit que de formations sédimentaires jaunes de l'Eocène supérieur-Oligocène ou du Miocène, à peu près dépourvues de sols superficiels.

massifs, dont ils tirent leur origine, sont eux-mêmes largement représentés et décapés par l'érosion qui entraîne au loin leurs résidus rouges.

Si ces formations rouges doivent être essentiellement considérées chez nous comme des assises sédimentaires et des paléo-sols plus ou moins remaniés, quelle est donc la tendance évolutive actuelle?

La réponse est difficile, en raison de l'insuffisance des travaux. Il semble cependant (et plusieurs auteurs l'ont antérieurement remarqué) que l'on assiste actuellement à la genèse de *sols bruns*, de profil peu différencié, dans les régions de basse et moyenne altitude, comme c'est le cas pour toutes les contrées européennes de climat moyennement sec.

Ce type serait d'ailleurs celui que l'évolution pédologique tendrait à réaliser dans nos régions depuis assez longtemps, si l'on en croit l'observation de M. ERHART, selon lequel des paléo-sols, fossilisés sous les laves du volcan quaternaire de Saint-Thibéry, au-dessus des alluvions anciennes de la basse vallée de l'Hérault, lui appartiennent déjà (1).

II. — L'IMPORTANCE PRATIQUE DES PALÉO-SOLS ET DE LA TENDANCE ÉVOLUTIVE ACTUELLE.

1^o Importance des paléo-sols.

L'importance théorique des paléo-sols, soulignée ci-dessus en montrant leur fréquence dans certaines régions, ne doit pas faire oublier leur grand intérêt dans la simple pratique agricole.

Il convient, en effet, de savoir que l'on a affaire à un paléo-sol et quelle en est la nature avant de songer à le cultiver, même si ce paléo-sol est partiellement enterré sous des formations superficielles plus récentes.

Le cas des paléo-sols renfermant un horizon illuvial, c'est-à-dire d'accumulation, paraît spécialement grave à cet égard. Dans les régions qui furent fortement latéritisées lors d'une période géologique antérieure à l'actuelle, il arrivera par exemple qu'une carapace ferrugineuse peu profonde rendra les cultures précaires ou impossibles. Par contre, si l'on réussit à rompre cette croûte et à assurer ainsi la circulation des eaux souterraines ou à ameubler le sol, les conditions climatiques actuelles n'étant plus favorables à la latéritisation, on pourra conserver une terre convenable où la concentration des solutions ferrugineuses ne sera plus à craindre.

De même, les horizons d'altos, caractéristiques d'un podzol franc, pourront être brisés, sans qu'il y ait à craindre leur reconstitution dans le cas où la formation podzolique est ancienne et ne correspond plus à la tendance évolutive actuelle.

(1) H. ERHART, « Sur l'existence d'un paléo-sol quaternaire dans le Bas-Languedoc et sur les sols volcaniques de cette région », *C. R. Ac. Sc.*, t. II, 1940, p. 401.

Les sols à croûtes calcaires, si fréquents en Afrique du Nord, semblent aussi ne plus pouvoir se former partout maintenant. Ce seraient, pour une part, des paléo-sols, selon V. AGAFONOFF (1). La distinction entre les zones où le calcaire ne s'accumule plus et celles où il continue encore à migrer est donc capitale pour les façons agricoles qui nécessitent généralement la rupture de ces croûtes.

Pour les paléo-sols à profils peu différenciés, comme les tchernozioms ou les sols bruns, si favorables aux cultures riches, tous les efforts de l'agriculteur devront tendre à conserver cette structure et à éviter des évolutions nouvelles, dont les résultats pourraient devenir catastrophiques.

On peut enfin citer un cas assez curieux de paléo-sols dont l'importance pratique dans nos régions méridionales est généralement ignorée. Je veux parler des argiles de décalcification de tous âges, qui sont conservées et continuent encore à se former dans les cavités souterraines des régions calcaires. J'ai montré antérieurement (2) que l'on peut les considérer comme de vrais sols, chimiquement assez riches, soumis à des conditions climatiques humides très spéciales, et que les racines des végétaux savent parfaitement atteindre, en se glissant dans les fissures des roches encaissantes, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur (observations réalisées jusqu'à 80 mètres). Ces sols karstiques souterrains, partiellement fossiles, partiellement actuels, permettent seuls la vie végétale dans les Garrigues et les Causses où, malgré leurs transformations morphologiques, rares seraient les plantes vivaces aptes à résister chaque année pendant plusieurs mois de sécheresse sur un sol superficiel presque inexistant.

2^o Importance de la tendance évolutive actuelle.

Inversement, il ne faut pas croire que l'examen d'un type de sol climatique suffise à comprendre son utilisation agricole rationnelle, sa « vocation culturelle ».

Du seul fait qu'il montre un profil évolué, c'est qu'il a « mûri » sous des influences climatiques passées. Il demeure possible, si le climat s'est modifié, que cette évolution ne soit pas définitive et que la « tendance évolutive actuelle » de la région étant devenue autre, le sol se modifie peu à peu.

Si nous reprenons l'exemple des formations rouges, dont plusieurs sont des paléo-sols dans le bas Languedoc, nous voyons que la tendance actuelle les fera évoluer vers des sols bruns dans la plaine et les zones de moyenne altitude, vers des sols lessivés, parfois un peu podzoliques,

(1) V. AGAFONOFF, « Sols types de Tunisie », *Ann. Serv. Botan. et Agric. Tunisie*, t. XII-XIII, 1935-1936.

(2) B. GÈZE, « Les sols karstiques souterrains et leur utilisation par les végétaux », *Bull. Assoc. Fr. Étude sol*, t. III, n° 1, 1937, p. 11.

dans les régions montagneuses très humides des Cévennes, de l'Espinouse ou de la Montagne Noire. On pourra même trouver des sols de tourbières là où l'écoulement est mal assuré, sur les témoins rougis des pénéplaines anté-triasique ou paléogène (nord de l'Aigoual, Mont Lozère, plateau de l'Agout derrière le rebord de l'Espinouse, coude de capture de l'Arnette près de Pradelles dans la Montagne Noire, etc...).

Les conditions topographiques et climatiques actuelles entraînent donc des évolutions bien différentes de celles qui ont conduit à la formation ancienne de ces terres rouges variées.

Dans un autre ordre d'idées, il importe de songer au rôle des divers végétaux cultivés, dans la formation et la localisation des horizons pédologiques, sous certaines conditions de tendance évolutive actuelle : par exemple formation d'horizons d'accumulation au niveau de la pointe des racines dans le cas de podzolisation. L'alternance des cultures de plantes exploitant le sol à faible ou à grande profondeur, devenue traditionnelle et efficace pour la conservation des qualités physiques et chimiques du sol dans nos régions, est encore le plus souvent à définir pour la colonisation de nouveaux espaces, sous d'autres climats et en présence d'autres tendances évolutives.

Un point de vue différent, mais non moins capital, montrant la liaison entre la tendance évolutive tout à fait actuelle et la pratique agricole, est celui de l'emploi des engrais et des amendements. J'emprunte sur ce sujet quelques données à un travail de H. BURGEVIN et S. HÉNIN (1) et à une note de G. AUBERT (2), dont les conclusions méritent d'être retenues.

Entre 1928 et 1938, une série d'expériences a été faite au Centre national de Recherches agronomiques de Versailles, sur un sol dont la tendance actuelle est manifestement une podzolisation croissante, s'expliquant par un climat suffisamment humide.

Les principales mesures ont porté sur l'acidité de parcelles dans lesquelles étaient faits des apports réguliers d'engrais ou d'amendements, une parcelle-témoin restant sans apports et privée de toutes traces de végétation (3).

Les engrais azotés ont été employés à raison de 150 kg de N par hectare et par an; les engrais potassiques à raison de 250 kg de K_2O ; les engrais phosphatés à raison de 1.000 kg. La quantité de fumier mixte était de 100 tonnes; les amendements correspondaient tous à

(1) H. BURGEVIN et S. HÉNIN, « Dix années d'expériences sur l'action des engrais sur la composition et les propriétés d'un sol de Limon ». *Annales agronomiques*, (9), n° 6, 1939, p. 771-799.

(2) G. AUBERT, « Action des engrais et des amendements sur le sol », *Conféd. Nat. Produc. Agric. et Forest. Territ. Outre-Mer, Commission des Sols*, 14 janvier 1944.

(3) On sait que les graminées, à l'exception de l'orge, semblent modifier le pH du sol dans le sens de l'acidification (A. DEMOLON, *La Dynamique du sol*, 2^e éd., t. I, p. 343). Cette action possible a donc été systématiquement évitée ici.

1.000 kg. de CaO, toujours par Ha et par an. Voici les résultats classés dans l'ordre d'acidification décroissante :

	pH en 1928	pH en 1938
Acidification.		
Chlorure d'ammoniaque	6,4	4,3
Sulfate d'ammoniaque	—	4,5
Phosphate d'ammoniaque	—	4,6
Nitrate d'ammoniaque	—	4,9
Sang desséché	—	5,1
Témoin sans engrais	—	5,9
Neutralité.		
Fumier : action neutralisante compensant l'action acidifiante du climat.		
Engrais potassiques : action insignifiante sur l'acidité.		
Superphosphate	6,4	5,9
Nitrate de Na.	—	6,1
Nitrate de Ca.	—	6,4
Alcalinisation.		
Scories	—	7,4
Amendement calcaire	—	8,1
Chaulage	—	8,2

On voit que les engrais ammoniacaux, notamment le chlorure, accumulant dans le sol des radicaux acides peu ou pas utilisés par les plantes, déterminent une baisse prononcée du pH, en raison de la forte décalcification qu'ils provoquent.

Cette acidification, allant de pair avec celle due à la tendance évolutive actuelle, entraînera une podzolisation croissante, appauvrissant gravement le sol et pouvant devenir désastreuse pour les cultures.

Les engrais potassiques et les nitrates n'ont qu'une action relativement faible. Quant au fumier, aux engrais phosphatés et surtout aux amendements, non seulement ils peuvent stopper l'acidification mais même amener une alcalinisation notable, qui empêchera toute évolution podzolique du sol, ce qui est tout spécialement désirable dans les régions de la France atlantique.

Au contraire, dans les pays relativement arides, comme c'est le cas en bien des points de l'Afrique du Nord, la tendance évolutive actuelle conduit à des sols gris, bruns ou châtons subdésertiques ou subarides, à des sols salés, parfois à des sols à alcalis, montrant tous une réaction alcaline. L'emploi d'engrais acidifiants, ou tout au moins n'alcalinisant pas, sera alors recommandé pour lutter contre la tendance naturelle défavorable.

Pour les pays tropicaux humides, où les sols évoluent normalement vers le type latéritique, le terme extrême, la formation d'une carapace ferrugineuse stérile, n'est possible qu'avec une forte acidité. On revient

donc à peu près au cas des régions tempérées humides et la pratique culturale, par l'emploi d'engrais alcalinisant, ou du moins assurant la neutralité du sol, luttera efficacement contre l'acidification naturelle.

Cet exemple de l'évolution du pH du sol suffit à mettre en évidence le rôle du pédologue qui, ayant reconnu la tendance évolutive actuelle d'une région, pourra conseiller utilement l'agriculteur, tandis que ce dernier, livré à lui-même, risquerait, par des façons culturales ou l'emploi d'engrais inconsiderés, d'amener, à brève échéance, la stérilité complète de ses terres.

Il est évident qu'à côté de l'acidité du sol, il faudrait encore envisager l'évolution de sa constitution, la mobilisation de ses éléments fertilisants, la modification de ses propriétés physiques permettant ou non de lutter contre l'érosion, etc..., tous problèmes incomplètement étudiés, mais qui prouvent l'immense importance pratique de la tendance évolutive actuelle, indépendamment de l'histoire pédologique antérieure.

III. — L'AGE DES SOLS ET LES CARTES PÉDOLOGIQUES.

On doit reconnaître qu'actuellement, malgré tous les efforts des individus ou des commissions et des congrès internationaux, il règne un grand désordre dans la cartographie pédologique, sans les progrès de laquelle la pédologie elle-même ne semble pourtant avoir que peu d'avenir.

Il peut paraître présomptueux d'émettre encore des idées, alors qu'il en existe déjà un trop grand nombre en conflit les unes avec les autres. Espérant cependant que cette intervention ne sera tout au moins pas nuisible, je me permets de préciser ce qui, dans mon esprit, doit figurer sur une carte pédologique, compte tenu de la distinction et de l'importance relative des paléo-sols et des sols résultant de la tendance évolutive actuelle, soulignés ci-dessus.

1^o Cas des cartes à petite échelle.

Ce cas concerne les cartes par exemple à l'échelle du millionième, englobant la surface d'un territoire déjà vaste ou même d'un pays (carte de France), et à plus forte raison les cartes d'échelle inférieure, couvrant un continent entier (carte d'Europe au 1/10.000.000^e), ou l'ensemble de la terre (carte de C. GLINKA au 1/40.000.000^e et essais plus récents).

Trop souvent, on veut tout reporter sur ces cartes, sans savoir discriminer ce qui est important, ou du moins figurable, de ce qui ne l'est pas. A cet égard, la première minute, encore incomplète, de la carte de France au millionième, présentée au Palais de la Découverte, lors de l'Exposition internationale de Paris, en 1937, malgré l'admirable somme de travail qu'elle représentait, était loin de constituer une réus-

site et n'avait rien de comparable à la belle clarté de la carte géologique de France, publiée à la même échelle et exposée à côté d'elle.

Je crois que toutes les cartes à petite échelle devraient se borner à figurer la tendance évolutive actuelle, sans tenir compte des paléosols. Ainsi seraient seuls mis en évidence, et d'une façon claire, les types de sols de formation très récente, liés aux zones climatiques variant suivant la latitude et l'éloignement des côtes, ainsi que suivant l'altitude.

Pour les cartes couvrant l'ensemble de la terre, on verrait ainsi sans ambiguïté où se forment *actuellement* des sols latéritiques, des sols subdésertiques, des sols à croûtes, des sols salins, des tchernozioms, des sols bruns, des podzols, des sols de toundras, etc..., sans que la carte soit compliquée par le fait que l'extension ancienne des latérites ou des podzols par exemple, a été plus ou moins grande à des époques précédant la nôtre.

Cependant, à côté de ces cartes purement pédologiques, mettant en quelque sorte en évidence la seule zonalité pédo-climatique actuelle, on peut envisager, en liaison avec les reconstitutions paléo-climatiques et paléogéographiques des géologues, la confection de cartes paléopédologiques distinctes les unes des autres et montrant la zonalité pédo-climatique ancienne, pour chacune des époques géologiques.

Il convient d'ajouter que, dans l'état actuel de nos connaissances, ces cartes seraient fort difficiles à établir sérieusement, pour autre chose que des régions très limitées de notre globe. Il faut cependant espérer qu'on pourra les réaliser peu à peu dans l'avenir, pour des époques de plus en plus lointaines et pour des surfaces de plus en plus grandes, car leur intérêt théorique est aussi incontestable que celui des cartes paléogéographiques et paléo-climatiques déjà tentées.

2^o Cas des cartes à grande échelle.

Pour les cartes à grande échelle, c'est-à-dire, dans le cas de la France, dressées sur le fond topographique des plans directeurs (1/10.000^e et 1/20.000^e), de la carte au 1/50.000^e, de la carte d'État-Major au 1/80.000^e, ou à l'extrême rigueur des cartes au 1/200.000^e et au 1/320.000^e, le problème se pose d'une façon différente.

Ces cartes sont destinées non pas tant au pédologue théoricien, comme les précédentes, qu'au pédologue praticien et à l'agriculteur lui-même. Elles doivent donc fournir le maximum de renseignements sur les formations situées actuellement en surface ou à faible profondeur, qu'elles résultent d'évolution anciennes ou récentes.

La distinction s'impose cependant entre les paléo-sols, dont on est sûr qu'ils n'évolueront plus dans le même sens que celui qui leur a donné naissance, et les sols de néo-formation. En outre, on doit envisager la

figuration des zones d'égale tendance évolutive actuelle, pour faire comprendre le sens de l'évolution future des formations superficielles, à quelque type ancien ou récent qu'elles appartiennent.

Ces conditions posent sans doute un problème technique de représentation cartographique relativement délicat à résoudre. On peut songer à l'emploi de teintes plates assez claires pour les zones d'égale tendance évolutive, de teintes identiques mais plus soutenues pour les sols zonaux de néoformation, effectivement réalisés dans ces zones, tandis que les paléo-sols n'ayant pas de rapports avec la zone dans laquelle ils sont conservés seraient représentés par des surcharges de formes variées et de couleur correspondant au type zonal auquel ils ont appartenu.

Il va sans dire qu'en l'absence d'essais préliminaires, ces suggestions ne prétendent pas apporter une solution définitive. L'essentiel à ce sujet paraît consister dans un coefficient de précision en rapport avec l'échelle de la carte. Il faut avoir le courage de supprimer beaucoup de détails si l'on publie, par exemple, au 1/200.000^e des contours levés sur le 1/50.000^e. Ce problème est d'ailleurs général pour toutes les figurations cartographiques et les pédologues auraient avantage à s'inspirer entre autres des simplifications qui ont permis de publier les cartes géologiques au 1/320.000^e à partir des levés au 1/80.000^e.

Conclusions.

Je crois avoir montré que le facteur temps, considéré sous l'angle de l'âge des sols, avait autant d'importance que les autres facteurs fondamentaux de l'évolution pédologique : climat, roche mère, condition topographique, influence de l'homme.

Théoriquement et pratiquement, la discrimination est absolument capitale entre les paléo-sols, résultant d'évolutions sous des climats anciens, et les sols de formation récente, dus à l'évolution actuelle. Des types de sols, considérés comme caractéristiques de climats actuels (latérites équatoriales, sols rouges méditerranéens), ne sont en réalité que des paléo-sols et ce sont d'autres types qui correspondent à la tendance évolutive actuelle. L'agriculteur doit tenir compte des uns et des autres, aussi bien dans ses façons culturales que dans l'emploi des engrais ou même sans doute dans le choix de son mode d'exploitation.

La cartographie pédologique, enfin, doit traduire ces faits de façons différentes suivant le but poursuivi et l'échelle adoptée : figuration seule des grandes zones d'égale tendance évolutive actuelle sur les cartes à petite échelle; figuration complète de cette tendance, des sols de formation récente liés à elle et des paléo-sols qui n'en dépendant pas, sur les cartes à grande échelle, avec une précision appropriée à leur échelle.

MEDITERRANEAN RED SOILS

By Robert L. PENDLETON

Professor of Tropical Soils and Agriculture, Dept. Geography,
The Johns Hopkins University, Baltimore 18, Maryland.

These notes and observations are from the point of view of one who has spent most of his time for some decades in the humid and semi-humid tropics, but only three weeks in southern France and in Algeria. However, in this brief time there have been many opportunities to examine red soil profiles and to discuss them with students of soils who have had much more experience in Mediterranean and other temperate regions. In concluding this most worth while conference, it seems pertinent to set down some of the facets of the red soil problem as they now appear, and to suggest some lines of study (1).

Concerning the soils of the humid tropics there is also an appalling lack of accurate and detailed observations and reliable and precise chemical and physical data. This is true for many of even the most important and strikingly different soils, so that serious discussion of the differences and or similarities of many soils is hardly worth while.

Since the red soils about the Mediterranean are considered to be the most important for the civilization of the region, these soils should be studied much more thoroly than has thus far been the case.

While some have stated that the Mediterranean red soils (*terra rosa*) to be similar to the Decatur series of the United States, Reifenberg considers that some of the soils of the Riverside district, California, are closely similar to some of the red soils of Palestine. However, it may be that certain of the red soils in California have been developed under a higher humidity, in which some suggest that fogs may be a factor, rather than under a higher rainfall in the strict sense of the term. Reifenberg contended that Mediterranean red soils do not develop where there is summer rainfall; nor that there are red soils at higher elevations, where higher rainfall and lower temperature conditions may be expected. While it is possible that the hypothesis that wet and dry seasons are needed for the formation of red soils is a relic of the earlier hypothesis that similar alterations of seasons are necessary for the

(1) In most cases no attempt will be made to give individual credit for various and different points of view stated in this note.

formation of a "laterite crust", nevertheless, the rainfall regime during the year is very important in determining certain of the principal soil characteristics, at least color, in soils of low latitudes. Reifenberg also reported that on limestone walls in Palestine, a reddish tinge develops in from 2 to 3 years, while marl, which is softer, always gives rise to black soils; and also red soils around the Mediterranean are always associated with hard limestone. It is doubted that all these soils should be called paleo-soils, which means, that they had developed under a different and previous climate from that now prevailing. Del Villar added that in Spain red soils have also developed on sandstone.

Obviously, soil color by itself is quite inadequate to satisfactorily designate soils. Even a cursory field inspection indicates that the Mediterranean red soils, with their reputedly high silica sesquioxide ratios, are not the same as the usually strongly acid red soils developed under humid tropical climates.

More important, there are those who believe that there are important differences as to the chemical processes involved in the development of the two groups of red soils: Some believe that the iron behaves very differently in the Mediterranean red soils, moving *upward* in an Alkaline medium! For that matter, does water really move upward in these red soils any considerable distance, except thru the roots of plants?

According to others, the most important chemical problems to be solved is how the silicon behaves in these soils. Is it preserved in an alkaline medium? or what has happened to the silicon, which others believe, on theoretical grounds, is missing from the profile? Again, some believe that the silicon has not been leached out of the profile.

The sirocco which struck Algiers on 12 May 1947, during the meeting of the Mediterranean soil conference, deposited roughly a millimeter of dust over the landscape. And this was reported to have been the fifth dust storm during the current year. Thus during a single year there could have been added 4 or 5 millimeters of chemically relatively unweathered rock powder to the surface of the Mediterranean red soils. And during the course of the many centuries in which these soils in Algeria have been in approximately their present position, have they not received a relatively large proportion of rock powder from the Sahara? Would this not be more than enough to account for the seemingly peculiar chemical characteristics of the red soil profiles, particularly in Algeria? In the humid tropics we know of numerous examples where volcanic ash (rock powder) has markedly altered the chemical, physical, and plant nutritional characteristics of previously strongly leached, infertile soils.

Obviously the hypotheses as to the mode of formation of the Medi-

terranean red soils are conflicting and quite inadequate to explain the soil characteristics. A fresh start is needed for it seems clear that far too little useful and definite data are available about these soils. It is most important to get the facts. What are really the parent materials? What climatic and particularly what rainfall regime is necessary to develop these red soils? What is the relation of the red soils to the topography? What have been the effects of the fall of löss (dust) on these soils thru the ages?

One of the first things needed is detailed soil maps of a number of representative localities where red soils occur. In connection with these surveys, detailed and thoro profile studies of the morphology should be made. It is believed accurate, detailed soil mapping may reveal soil profile and parent material relationships as yet not appreciated or even anticipated.

Studies need to be made of the micro-weathering zone, at and close to the surface of the parent rock. The chemical reactions and processes within a millimeter or so of the fresh, unweathered rock are almost certainly quite different from the chemical reactions and products a few millimeters farther away from the rock. Because these effects are likely very local, AUBERT has emphasized the importance of studying microscopically the chemical alterations of the minerals in the weathering and transforming processes. What finally becomes of the silicon and other products liberated by the weathering?

The characteristics of the clays and other products should be determined by means of thermal curves, X-ray diffraction methods, and where necessary of desirable, also by chemical analyses. The pH of the various micro-weathering zones should be measured by the use of the glass electrode.

Numerous samples of the dust which falls in red soil districts in various parts of the Mediterranean region should be collected and thoroughly studied mineralogically and chemically. Possibly accelerated weathering processes could be devised which might suggest the effect that the products of weathered dust might have upon soils long exposed to falls of dust of similar character.

Where possible the behavior of various indicator plants should be compared by growing them on considerable quantities of various red soils which are maintained under uniform and controlled conditions, as in a greenhouse. These large samples should have already been studied and compared by the methods above suggested. This should indicate whether the red soils of the Mediterranean region are really closely similar or not, and whether they are as fertile as they are reputed to be. Because of the frequently peculiar iron : phosphate relationships in red soils, crop needs for phosphorus, particularly, should be measured.

The most suitable compounds for use as fertilizers as carriers of phosphorus on the Mediterranean red soils should be determined.

Most appropriate was Gaucher's recommendation that since we know so very little of significance about the Mediterranean red soils, they should be especially studied. Then a symposium on them can be held during the next International Congress of Soil Science.

SOME OBSERVATIONS ON RED SOILS

by A. REIFENBERG
(Hebrew University, Jerusalem).

It is with some hesitation that I accept the kind suggestion of Mr. OUDIN to say a few words about the red soil we have met with during our excursions in France and Algiers. This hesitation is due to the fact that we foreign observers have not of the same knowledge of local conditions as have our eminent French colleagues who have devoted many years of study to this and similar problems. We have come to this beautiful country not to teach but to learn. If, however, it is thought that some comparisons with conditions in other countries may prove helpful, I shall be glad to say a few words with regard to the many problems of red-soil formation we have discussed during our excursions.

There has first of all been the question whether or not these red soils, being possibly in many cases of fossil origin, should be regarded as soils. This question is not particular to red soils only, but touches fundamentals of Soil Science. According to the generally accepted definition of Ramann « soil » is « die lockere Verwitterungsschicht der festen Erdrinde » and therefore these soils, whether fossil or not, are « soils » indeed.

The second question was whether all the red soils we have seen are fossil or whether they are still being formed today. I do not want to deny that possibly some of the soils we have seen, especially those overlying littoral formations, may have been formed in earlier geological periods. The same is e. g. true for the « red sands » in the coastal plain of Palestine. But we should be very careful in this respect especially when comparing the Mediterranean red soils with tropical or subtropical soils. The Mediterranean red soils are fundamentally different from the latter as far as their origin or their qualities are concerned. The difference in the silica sesquioxide ratio showing a strong leaching of silica in the case of tropical soils is ample proof in this respect.

There seems to be no doubt that the red soils on limestone we have seen in France and Algiers, in any case, have been formed under a climate which is similar to the present one and that these soils are still being formed today. It should be remembered that the rate of erosion is estimated in the mountains at about 2 mm per year, i. e. the

amount of soil carried away by the force of erosion corresponds to the thickness of a soil-layer of 4 metres since Roman times. With this high rate of erosion there should have remained no soil on the hills if not for the constant reforming of this soil even in our days.

Furthermore the regional distribution of these soils is a proof for their formation under special climatic conditions, namely those of the Mediterranean climate. The chief characteristic of this climate is the alternation of rain in winter with a dry period in summer. Red soil formation is found in all the Mediterranean countries-Spain, Southern France, Italy, Dalmatia, Syria, Cyprus, Palestine, Cyrenaica, Algeria, etc. Where Red Earth formation is in progress the value of Lang's Rain Factor usually lies between 30 and 60. There are no red soils under more arid or more humid conditions. The traveller coming up from the Sinai Desert to the Hill Country of Judaea with its higher rainfall e. g. is suddenly struck by the colour of the soils which was missing in the desert. The same is true when crossing the Western Desert and coming to the more humid hills of the Cyrenaica or at the border of the Syrian Desert and the hill lands of Syria. On the other hand red soils are prevalent in Italy but make place to other soil-formations when we reach the Alps. We were able to make similar observations on our excursions in France and Algeria. We have seen red soils near Montpellier and they have accompanied us a long way towards l'Aigoual (Le Vigan e. g.), but once we came to higher altitudes with a more humid climate they gradually disappeared giving place to brown forest soils (Valleraugue) or sub alpine humus soils on the summit of l'Aigoual. In Algeria, on the other hand, we have found red soils all over the hill country, in the Atlas of Algiers and in the Atlas Tellien, but they disappeared when we came to Relizane with its more arid climate. There were red soils formed on the jurassic limestone between Tlemcen (641 mm. rain) and Sebdou (419 mm. rain). But this same jurassic limestone did not yield any red soil on the way towards El Aricha with its annual precipitation of 300 mm. and less.

It is just the Mediterranean climate which makes red-soil formation at all possible. The heavy winter rains cause strong hydrolytic processes and much of the limestone goes into solution. This solution process already leads to a relative enrichment of silica and sesquioxides. Owing to lack of humus and the presence of calcium carbonate the soil is generally slightly alkaline. Under these conditions the colloidal silica which is formed by hydrolysis peptises the sesquioxides from the rock, and protects such oxides as are in solution from precipitation by the limestone. Even silica that only contains latent alkali and has a slightly acid reaction has this peptising effect. During the dry season the soil solutions ascend. Unlike unprotected sesquioxide sols, which

are very easily coagulated, those that are protected by silica are much more stable and are coagulated only by more concentrated electrolytes, which they meet on rising through the soil. The calcium hydroxide that is produced by the dissociation of calcium bicarbonate may play an important part here. Changes in the concentration of the soil solution and adsorption processes are naturally also operative. On coagulation the sesquioxides often envelop other particles of soil. The coagulated particles may in time undergo secondary physical and chemical changes, and form chemically well defined and even crystalline silicates. It may be mentioned that this movement of sesquioxides protected by colloidal silica has been beautifully demonstrated in microscopic slides of red soils by Kubiena.

There are, of course, lime-containing rocks which never yield red soils as e. g. marls, which only form a rock-meal or marly soils with a lime content of 50 p. cent and more. True hydrolytic processes characteristic in the evolution of soils do not take place here. The chief action consists in the solution and erosion of the products of disintegration. The soft and dense rock is besides generally impermeable to water and no downward or upward movement of water takes place. This is true for the marls in Palestine and Syria and we were able to see the same phenomenon with the marls at Fontfroide near Montpellier. On the other hand the views expressed here, originally developed when studying red soils on limestone do, of course, also hold good in the case of other geological formations, such as basaltic diabase, sandstone, etc. A point in case, observed on our excursions, is the « rubefaction » of the pudding stones we have seen in the South of France or of the granitic rock near Nedromah (Algiers).

Whilst I fully realize that there are still many problems to be solved with regard to these red soils, I shall be content if my words will at least form a basis for further discussion.

CARTE SCHÉMATIQUE DES pH DU SOL DE LA FRANCE

Par Ph.-J.-J. FRANC DE FERRIÈRE,
Chef de Laboratoire du Service scientifique
Société commerciale des Potasses d'Alsace (Mulhouse).

Cette carte schématique des pH du sol de la France est une première tentative d'utilisation synthétique des très nombreuses déterminations de pH de sols effectuées tant par l'auteur que par les inspecteurs régionaux et les ingénieurs de la S. C. P. A. dans les diverses régions agricoles françaises. Elle a été dressée à l'occasion de la Conférence internationale de Pédologie méditerranéenne de mai 1947.

Il s'agit d'un travail effectué pour répondre à des besoins techniques d'emploi des amendements et des engrais et pour parer, en quelque mesure, à l'absence regrettable d'une carte générale des sols de France qui n'a pu être encore établie par suite des difficultés nées de la guerre.

Afin de grouper au mieux les nombreuses déterminations de pH que j'ai pu rassembler, j'ai été amené à utiliser pour la confection de cette carte les renseignements donnés par deux cartes à 1/1000000^e actuellement existantes : la carte géologique de la France, d'une part, la récente carte du tapis végétal du professeur GAUSSEN d'autre part. Mais la carte que je présente n'est qu'une carte *schématique* destinée à donner une simple vue d'ensemble de la répartition générale des pH à la surface du sol de la France; elle ne prétend nullement représenter pour chaque point un pH exact que tant de facteurs font varier si largement même sur de très courtes distances.

Diverses considérations botaniques et agronomiques m'ont amené à diviser les pH observés à la surface du sol de la France en quatre groupes :

1. Les sols les plus acides : pH 5 et inférieurs à 5.
2. Les sols d'acidité moyenne : pH compris entre 5 et 6.
3. Les sols faiblement acides : pH compris entre 6 et 7.
4. Les sols basiques : pH généralement compris entre 7 et 8.

Étudions successivement ces quatre groupes de pH :

1. *Sols les plus acides* : pH 5 et inférieurs à 5.

Ce sont des sols qui, pour la plupart en France, paraissent n'avoir jamais été mis en culture et sur lesquels s'étendent seulement la lande ou la forêt.

La lande couvre les sols les plus acides et généralement les plus pauvres.

Les landes n'occupent pas en France une position topographique et géologique quelconque. Elles s'étendent presque exclusivement à la surface de replats en position dominante par rapport aux vallées voisines, replats constitués par des roches particulièrement résistantes à l'érosion physique et à la corrosion chimique, spécialement roches siliceuses ou silico-alumineuses.

Ces sols très acides paraissent être, pour une part, les restes d'anciennes pénéplaines, se prolongeant souvent par des cônes d'alluvions anciennes également en position dominante par rapport aux vallées voisines.

Ces sols de landes dont le pH s'abaisse souvent jusqu'à pH 3,5, doivent leur acidité extrême à une double cause : leur pauvreté en éléments basiques accentuée par un lessivage millénaire sous l'action des eaux d'infiltration, l'accumulation à leur surface de débris végétaux morts très acides pouvant aller, sur certains sommets particulièrement bien arrosés par les précipitations météoriques, jusqu'à la formation de tourbières hautes à sphaignes.

Si certaines régions aujourd'hui forestières, comme les Landes de Gascogne, sont une véritable conquête de la forêt sur la lande, grâce à l'introduction du pin maritime, il est beaucoup de sols très acides, moins profonds que ceux des Landes de Gascogne mais aussi fortement acides sur lesquels la forêt n'a pas eu de peine à se maintenir. C'est le cas, en montagne, de nombreuses forêts de conifères, qui plus haut cèdent la place à une lande climatique tourbeuse très acide, la lande alpine à rhododendron.

On voit que des sols très acides se trouvent donc à toutes les altitudes.

Signalons cependant aussi l'importance de l'influence du climat général sur la répartition géographique des sols les plus acides. Ces sols jalonnent un certain nombre de crêtes dans les régions françaises soumises au climat atlantique, par contre ils font totalement défaut dans la région méditerranéenne française où la pluviosité se présente sous l'aspect de précipitations plus rares et brutales dont l'action érosive dépasse largement l'action lessivante éluviale. De plus la sécheresse du climat méditerranéen paraît s'opposer à l'accumulation de litière tourbeuse très acide. Enfin la région méditerranéenne présente une topographie très accidentée qui accentue les phénomènes d'érosion. C'est donc uniquement dans la zone climatique atlantique que nous observons les sols à pH les plus bas, sols qui, au point de vue cultural n'intéressent guère que les forestiers.

2. Sols d'acidité moyenne, à pH compris entre 5 et 6.

Ces sols plus largement étendus que les précédents constituent fré-

quemment une bordure plus ou moins large entourant ou joignant les noyaux isolés de landes ou de forêts plus acides. Ils ont subi plus que ces derniers l'action érosive des eaux de ruissellement; ils se trouvent souvent à la surface des roches moins dures, moins résistantes à l'érosion, ou de roches plus ou moins calcaires, dont l'acidification superficielle est moins accentuée que celle des roches siliceuses.

Ce sont encore fréquemment des sols à vocation forestière; mais l'arbre y apparaît souvent aussi sous la forme de plantations d'arbres fruitiers : pommiers répandus dans tout le Nord de la France, de la Bretagne à la Thiérache, châtaigneraies dans tout le Centre et jusque sur les pentes méridionales des Cévennes, pêchers sur les graviers acides des vallées du Rhône et de la Garonne. La vigne occupe volontiers les terrasses acides en particulier dans les grands crus du Bordelais.

Ces sols d'acidité moyenne pénètrent d'ailleurs jusque dans la région méditerranéenne, où on les observe en particulier sur les basses croupes des Maures et de l'Esterel, où ils portent côte à côte le chêne-liège et des cultures de mimosa.

Mais les flancs plus ou moins érodés des massifs acides sont fréquemment utilisés pour des fins autres que la culture de l'arbre et de l'arbuste. Dans tous les pays de Gâtine ou de Gâtinais, dans le Perche, la Normandie, la Bretagne, le Limousin, ce sont des pâtures qui s'étendent au flanc moins acidifié des massifs de landes ou de forêts.

La culture elle-même a envahi pour une part ces sols. Les pays de bocage ont vu leur sol totalement défriché, la forêt n'y apparaît plus que sous la forme des fossés ou talus plantés d'arbres qui séparent les champs cultivés ou les pâtures. Ces talus présentent presque toujours des pH plus acides que les champs qu'ils séparent. Ces derniers paraissant au contraire avoir été légèrement désacidifiés, soit par la culture et l'emploi d'amendements ou d'engrais, soit par suite des phénomènes d'érosion qui ont plus ou moins détruit l'ancien sol forestier superficiel le plus fortement acidifié.

Notons enfin que la culture des plantes acidophiles ou indifférentes au pH : le sarrasin, la pomme de terre, le maïs, le trèfle incarnat y sont particulièrement en honneur; le seigle a d'ailleurs donné son nom aux Segalas, où l'acidité moyenne du sol est si fréquente. Mais la bonne culture et l'utilisation rationnelle des amendements et des engrais fait reculer partout le seigle devant le blé, en élevant le pH des sols dans beaucoup de ces régions.

3. Sols d'acidité faible, à pH compris entre 6 et 7.

Ce sont pour une part des sols nés d'érosion récente sur roche mère siliceuse ou des sols sur alluvions récentes en régions non calcaires,

et celà aussi bien sous climat atlantique que sous climat méditerranéen.

Mais c'est aussi le pH de nombreux sols de plateaux totalement décalcifiés et légèrement acidifiés. Ces derniers jouent un rôle considérable dans tout le Bassin Parisien, où le limon des plateaux constitue les fertiles « terres de plaine ». Si leur légère acidité naturelle a souvent été neutralisée par les marnages, ils présentent cependant une constante tendance à revenir plus ou moins rapidement à leur réaction primitive.

Dans le Bassin d'Aquitaine, les limons des plateaux sont remplacés par les sols de boubène, dont les plus anciens, les plus élevés topographiquement, comportent fréquemment une acidité plus accentuée.

Au contraire dans la région méditerranéenne, les sols rouges souvent totalement décalcifiés qui apparaissent à la surface des plateaux calcaires ne présentent qu'exceptionnellement une réaction légèrement acide, et seulement lorsqu'ils ont pu se maintenir en place sous le couvert d'une végétation forestière.

4. Sols basiques, à pH compris entre 7 et 8.

Les sols basiques en France sont tous des sols plus ou moins calcaires, donc des sols jeunes, peu lessivés.

Ce sont en premier lieu des sols sur alluvions modernes, soit d'origine marine, soit d'origine fluviale lorsqu'ils proviennent des bassins de cours d'eau s'étendant sur des régions de roche mère calcaire.

Exceptionnellement des terres à réaction artificiellement basique ont été constituées par l'homme par apports massifs de calcaire, comme c'est le cas en particulier dans la Ceinture Dorée bretonne, née de l'utilisation de tangues ou sables marins calcaires.

Tous ces sols présentent une fertilité particulièrement satisfaisante.

Beaucoup plus répandus sont les sols calcaires nés de l'érosion plus ou moins récente de roches mères calcaires et qui s'étendent soit à la surface de ces roches, soit sur leurs flancs. Il s'agit alors de sols d'une constitution physique et chimique très variable. Les uns, les sols de Champagne, de Groie, les terreforts d'Aquitaine sont très aptes à la culture des plantes annuelles.

Au contraire, les sols de côtes calcaires sont fréquemment plantés, dans la partie moyenne de la France, en vignes, parfois de grands crus, Champagne, Bourgogne, Alsace; enfin les sols des pentes les plus raides et ceux les plus fortement ravinés par l'érosion ne sont plus justiciables que de l'exploitation forestière. C'est le cas d'une partie des sols méditerranéens de Garrigues, couverts de chênes yeuses et de chênes kermès. Le pâturage extensif des brebis laitières permet la mise en valeur de ces sols dans la région des Causses de Roquefort.

Ces sols basiques sont d'ailleurs particulièrement répandus dans

la région méditerranéenne française où géologiquement prédominent les roches mères calcaires et où climatiquement les phénomènes d'érosion et de transport par les eaux de ruissellement superficiel l'emportent de beaucoup sur les phénomènes de lessivage éluvial par les eaux météoriques d'infiltration.

En résumé, ce rapide exposé permet de se rendre compte du nombre et de la diversité des problèmes que pose la cartographie des pH du sol de la France et l'extrême complexité de la question.

J'ai pu disposer, pour dresser cette carte schématique, de nombreux renseignements analytiques dus au travail et à l'obligeance d'un nombre important de chercheurs, agronomes, forestiers, botanistes, pédologues, géologues et géographes que je suis heureux de remercier ici. Ce n'est qu'après l'avoir terminée que j'ai pu comparer cette carte avec la carte des moyennes annuelles des précipitations en France qui traduit l'importance de la pluviosité. Les ressemblances que l'on observe entre ces deux cartes sont évidemment dues au fait que la pluviosité se trouve, pour une large part, conditionnée par le relief du sol, phénomène que reflète en partie la carte des pH.

Cette carte schématique des pH du sol de la France paraît donc bien répondre à la fois aux données géologiques, botaniques et climatiques et constituer de ce fait une première ébauche très simplifiée d'une véritable carte pédologique destinée à illustrer l'influence des grands facteurs qui ont imprimé dans un passé plus ou moins récent non seulement ses grandes lignes, mais encore ses moindres détails au sol de notre pays.

*Observation à la communication de M. Franc de Ferrière
sur la carte des pH des sols de France.*

M. Gèze souligne combien la carte des pH présente une analogie remarquable avec une carte géologique ou, plus encore, avec une carte lithologique.

Tous les massifs anciens, schisto-cristallins et granitiques, ressortent nettement, avec des pH très acides. De même, les sédiments siliceux (grès et sables) montrent une forte acidité. Par exemple, l'auréole des « sables verts » du Crétacé inférieur de Champagne, les îlots de sables tertiaires de Compiègne, de Fontainebleau, etc..., du Bassin parisien, aussi bien que les « sables des Landes » plio-quadernaires du Bassin aquitain, se manifestent à l'évidence.

A l'opposé, tous les sédiments calcaires : Jurassique des Causses, Crétacé supérieur de Champagne, Lutétien de Paris, calcaire lacustre de Beauce, etc... se traduisent par une nette et égale alcalinité.

L'influence climatique ne semble guère jouer, sauf peut-être un

peu dans la zone méditerranéenne où le massif des Maures, quoique donnant des sols acides, ressort moins nettement que les autres massifs anciens.

En un mot, il est frappant de voir combien la carte des pH des sols de France correspond, dans les moindres détails, à la carte lithologique des roches mères, quel que soit leur âge et leur formation marine, lacustre ou continentale.

LES SOLS DE L'HÉRAULT

Par G. MONTARLOT,

Chef de travaux de Géologie à l'École Nationale d'Agriculture de Montpellier.

L'influence de la roche mère est prépondérante dans la genèse de la plupart des sols de l'Hérault qui sont en général peu évolués. Quelques-uns cependant montrent des tendances climatiques.

Étant donné la variété des roches mères, des conditions topographiques et des climats, il en résulte l'existence d'un assez grand nombre d'espèces de sols, dont la classification sera difficile.

En effet, quelques-uns seulement appartiennent aux grands groupes (classification générale de l'école russe de DOKOUTCHAIEFF, SIBIRTZEFF, GLINKA (1). Classification de OUDIN pour les sols de France (24).

Ainsi nous aurons dans l'Hérault des sols rouges méditerranéens, des sols salins, des sols rendziniformes, des sols phytogéniques humifères, des sols tourbeux. Mais ces subdivisions trop générales ne permettent pas de séparer tous les types de sols du département. Il nous faudra pour cela utiliser une classification plus détaillée, dans laquelle les grandes catégories de sols seront scindées en groupes secondaires. De plus, comme beaucoup de sols sont jeunes et conservent les caractères de la roche mère, notre classification devra être en grande partie basée sur la nature de ces roches.

Nous adopterons la classification de BORDAS (5) pour la région méditerranéenne. Mais il sera nécessaire de la modifier légèrement, les sols de l'Hérault n'étant pas entièrement semblables à ceux de la basse vallée du Rhône.

Pour arriver à distinguer les différents sols peu évolués nous serons obligés de faire appel à certains caractères agronomiques, tels que l'abondance plus ou moins grande de sable, argile, calcaire. Nous tiendrons également compte d'un facteur important au point de vue pratique : la profondeur du sol.

Il semble que les vrais sols rouges n'existent en général dans l'Hérault que sur roche calcaire. Les autres sols rouges, sur marne en particulier, sont très peu évolués. En réalité, c'est la roche mère qui est rouge, et le sol, par suite de son manque d'évolution, conserve plus ou moins cette coloration. Il est possible, soit que la roche mère ait toujours possédé cette coloration depuis l'époque de sa sédimentation, soit qu'elle

l'aît acquise ultérieurement par un phénomène de rubéfaction ancien dû à la métasomatose et non à un processus pédologique.

Il en résulte que ces sols rouges sur marnes rouges ne peuvent être classés parmi les sols à tendance climatique, bien qu'on soit évidemment obligé de les ranger parmi les sols rouges.

En tenant compte de ces diverses considérations, j'ai adopté la classification suivante.

Classification des sols.

I. — SOLS A TENDANCES CLIMATIQUES (SOLS ZONAUX).

- 1^o Sols rouges sur roches calcaires;
- 2^o Sols à concrétions calcaires ou à croûtes;
- 3^o Sols humifères :
 - a) Rendziniformes sur calcaires,
 - b) Acides sur roches non calcaires.

II. — SOLS AZONAUX (PEU ÉVOLUÉS).

- 1^o Sur roches dures et non calcaires :
 - a) Sur roches éruptives acides et roches cristallophylliennes;
 - b) Sur roches éruptives basiques,
 - c) Sur grès siliceux compacts et calcaires silicifiés;
 - d) Sur schistes sédimentaires;
 - e) Sur argilolithes;
- 2^o Sur roches argileuses :
 - A) Sur argiles : a) rouges, b) non rouges;
 - B) Sur marnes : a) rouges, b) non rouges;
- 3^o Sols jaunâtres sur calcaires marneux;
- 4^o Sols sur tufs calcaires;
- 5^o Sols sur dolomie;
- 6^o Sols sur cailloutis :
 - A) Cailloutis calcaires : a) sols rouges, b) sols non rouges;
 - B) Cailloutis siliceux : a) sols rouges, b) sols non rouges;
- 7^o Sols sur sables;
- 8^o Sols sur alluvions.

III. — SOLS INTRAZONAUX.

- 1^o Sols marécageux;
- 2^o Sols salés;
- 3^o Sols tourbeux.

I. — SOLS A TENDANCES CLIMATIQUES

Il n'existe peut-être pas ici de sols vraiment climatiques. Cependant quelques-uns présentent une certaine évolution, qui les différencie de la plupart des autres sols non évolués et très voisins de la roche mère. Nous les considérerons donc provisoirement comme ayant une tendance climatique.

1) *Les sols rouges.*

Dans ces sols la coloration rouge domine, souvent mêlée à d'autres teintes. En général, le rouge est plus ou moins nuancé de brun, mais il existe aussi des sols d'un rouge-ocre vif et des horizons jaunes.

Ainsi les ruffes de Lodève de couleur rouge sombre, sont des sortes d'argiles schisteuses (argilolithes), parfois gréseuses, donnant des sols qui doivent être étudiés dans ce chapitre à cause de leur couleur, mais peu comparables aux autres sols rouges.

Malgré les résultats déjà acquis, le sujet peut faire encore l'objet de controverses. J'exposerai ici le résumé de mes observations sur les sols rouges de l'Hérault.

Sols rouges sur calcaire. — On les trouve principalement dans les Garrigues et les Causses, où ils occupent de vastes surfaces.

Roche mère. — Ils reposent sur des calcaires d'âges variés (Devonien, Jurassique, Neocomien, Crétacé supérieur, Eocène, Oligocène, Miocène), mais qui sont en général compacts, à grain fin, ou cristallins. La structure fine et compacte n'est pas nécessaire à la production du sol rouge : on en trouve, en effet, sur les calcaires lumachelles ou molasses du Burdigalien, qui sont grossiers et poreux, ou sur des poudingues et conglomérats calcaires de l'Eocène inférieur et supérieur. Mais ce qui est indispensable (AGAFANOFF [2]), c'est la pureté du calcaire : à mesure que celui-ci devient marneux, le sol cesse peu à peu d'être rouge et devient jaunâtre, brun-jaunâtre ou grisâtre. De même à mesure que le calcaire devient dolomitique, la couleur rouge s'atténue, passe au rougeâtre, au brun-rose, et finalement peut devenir grisâtre sur dolomie pure. Il semble cependant que par places on trouve des sols rouges sur dolomie. Cette question est à examiner de plus près.

Genèse. — L'origine des sols rouges est complexe. MARCELIN a montré (17) qu'ils sont formés d'argile de décalcification de la roche calcaire mêlée à un complexe détritique D d'origine étrangère (19).

La dissolution du calcaire dans un acide laisse un résidu argileux grisâtre. Pourquoi dans le milieu naturel ce même résidu libéré par la décalcification est-il rouge?

DEMOLON et BASTISSE (10) expliquent cette rubéfaction par la migration de complexes ferri-siliciques et le mouvement ascendant dû à la sécheresse estivale.

D'après AGAFONOFF (2), la coloration rouge dépend non de la proportion de fer contenu dans le sol, mais de l'état (ferreux ou ferrique) sous lequel il entre dans la solution colloïdale.

La dissolution du calcaire donnant la terre rouge a lieu depuis des temps très anciens : elle a pu commencer dès l'émersion des sédiments calcaires. Une partie de la terre rouge des cavités karstiques peut donc être considérée comme une roche ou peut-être un sol fossile.

La terre rouge est donc engendrée actuellement en partie par une roche de nature différente. Si en profondeur elle ne peut être qu'une roche ou sol fossile, au voisinage de la surface, elle se forme en présence des racines et des microorganismes (12). Dans ces conditions, elle doit donc être considérée comme un sol.

D'autre part, en surface, à partir de ce même sol, rouge naît un sol qui tend à devenir brun dans les endroits boisés, par accumulation d'humus. Le sol rouge joue donc ici le rôle de roche mère.

On peut donc dire que dans la garrigue, il se forme simultanément deux sols : un sol rouge par dissolution du calcaire et localement un sol brun par humification superficielle du sol rouge, le premier étant engendré beaucoup plus lentement.

On constate l'existence d'un certain lessivage comme le montre l'accumulation en profondeur de Fe^2O^3 , Al^2O^3 et argile d'une part, et du calcaire, sous forme de concrétions dures et noduleuses d'autre part (8-19). Le fait que le sol rouge est souvent décalcifié peut provenir soit de ce lessivage, soit de la genèse même de la terre rouge par décalcification. On peut également y observer parfois des pisolithes ferrugineux semblables à ceux décrits par BOISCHOT-DROUINEAU (4).

Le lessivage a dû se produire surtout à une époque plus ancienne lorsque la forêt d'Yeuses couvrait toute la région. Il existait (8) à ce moment un micro-climat rendant possible le mouvement descendant (8).

Une autre hypothèse est également possible : les zones humifères peuvent se former, par accumulation de matière organique au bas des pentes sous l'effet du ruissellement.

Horizons du sol rouge. — Dans le cas le plus complexe on peut reconnaître les quatre horizons A_0 , A_1 , $Tr B_1$, $Tr B_2$ de BRAUN-BLANQUET : A_0 , débris végétaux ; A_1 sol humifère ; $Tr B_1$, sol brun-rouge, $Tr B_2$ terre rouge plus vif. C'est le cas dans lequel existe le sol humifère plus ou moins brun (A_1) qui aurait pour roche mère l'horizon inférieur $Tr B_2$ (terre rouge de décalcification plus complexe détritique D) : ce cas complet n'est pas souvent réalisé et si les quatre horizons existent ils

ne sont que rarement tous réunis au même endroit. $Tr\ B_1$ et $Tr\ B_2$ ne sont peut-être que deux couches géologiquement différentes.

Dans $Tr\ B_1$ et $Tr\ B_2$ il y a renrichissement en argile, Fe^2O^3 , Al^2O^3 , et parfois calcaire en nodules. Cela se voit particulièrement lorsque l'épaisseur du sol est grande, par exemple dans les poches de décalcification.

Mais en général, le sol est très peu épais et ne présente que les deux horizons $Tr\ B_1$ et $Tr\ B_2$ ou même un seul, avec ou sans A_0 par suite de l'érosion. Ce sol peu épais peut aussi provenir du complexe terre rouge dégagé des cavités karstiques et répandu à la surface du rocher (5).

Ces sols rouges sont-ils exclusivement méditerranéens? Il existe dans d'autres régions des rendzines dégradées rouges qui ne sont pas sans ressemblance avec les sols rouges dits méditerranéens (11-14-26). Ce sont des sols peu épais, sur roche calcaire, contenant de nombreux débris de cette roche et pouvant être décalcifiés ou non.

J'ai observé dans la région de Bourges, sur calcaire jurassique, des sols bruns-rouges avec débris du calcaire sous-jacent, et qui semblent devoir être rapportés au genre rendzine dégradée. Un horizon brun humifère surmonte parfois l'horizon brun-rouge au-dessous duquel se trouve souvent une zone d'accumulation de calcaire pulvérulent.

Lorsque l'horizon brun-rouge pierreux existe seul, il y a une certaine ressemblance avec les sols rouges méditerranéens.

D'autre part, certaines rendzines du type R^2 et R^3 de l'Est de la France sont assez comparables au point de vue analytique à des sols rouges méditerranéens.

Voici les résultats de ces analyses (pour 1.000) dans deux horizons A et B comparables de part et d'autre (19-14).

	Rendzine A ² FONTENOY (Yonne)		Sol rouge de garrigue LA COLOMBIÈRE MONTPELLIER	
	A	B	A	B
Sable grossier siliceux	78.7	72.0	81.0	58.0
Sable fin siliceux	288.5	278.5	288.0	309.0
Limon	272.5	249.5	129.0	107.0
Argile	246.0	287.0	410.0	408.0
SiO^2	576.5	572.5	509.0	568.0
Al^2O^3	112.0	117.6	154.0	142.0
Fe^2O^3	56.0	52.4	56.0	48.0
CO^2	34.0	38.7	17.1	41.3

Dans l'ensemble ces chiffres ne sont pas très différents, sauf pour l'argile et le limon. Mais les sommes argile + limon sont comparables.

Il n'y a plus d' Al^2O^3 et moins de $Si\ O^2$ dans le sol de garrigue que dans la rendzine, sans que la différence soit très grande.

Le sens des migrations est le même pour Fe^2O^3 , CO^2 mais il est inverse

pour l'argile, SiO_2 , Al_2O_3 . Mais là encore les différences sont faibles. Pourtant ce seul exemple ne peut permettre de généraliser.

D'ailleurs les sols rouges méditerranéens ne sont pas tous semblables entre eux (26-14). Mais la proportion d' Al_2O_3 est toujours moindre dans les rendzines.

La comparaison peut cependant être poussée plus loin : les rendzines rouges sont des rendzines non typiques, dites dégradées. Les rendzines typiques sont humifères et de couleur foncée, comparables alors aux îlots humifères existant dans les garrigues. Ces derniers sont moins répandus dans le Midi que les rendzines typiques, dans le reste de la France parce que les conditions climatiques sont défavorables à l'accumulation d'humus dans le premier cas et favorables dans le deuxième.

Notons cependant, que les rendzines tendent à évoluer vers le stade podzol, ce qui n'est pas, semble-t-il, le cas actuellement pour les sols rouges méditerranéens.

Si les rendzines dégradées sont comparables aux sols rouges de garrigues, ces derniers n'ont qu'une tendance climatique assez faible car alors leur existence dépend de la présence du calcaire plus que de l'influence du climat.

Signalons enfin que la nature des sols rouges varie en général avec celle de la roche calcaire sous-jacente.

Végétation-cultures. — Les régions de sols rouges sur calcaires sont particulièrement pauvres en raison de leur extrême aridité. Le sol est, en général, très peu épais en surface, mais il peut s'accumuler en profondeur dans les cavités du calcaire.

A altitude faible (500, 600 m. au plus), c'est la région des garrigues typiques avec la végétation xérophile, coriace et épineuse caractéristique : yeuse, kermès, lentisque, arbousier, genevriers, cistes, genêt, scorpion, genêt d'Espagne, buis, thym, lavande, asphodèle, etc... Le romarin et le pin d'Alep sont peu abondants.

Lorsque le taillis cède la place à la garrigue proprement dite, où les yeuses sont clairsemés, elle devient le domaine des troupeaux de moutons.

Plus haut, en particulier sur les Causses, toute cette végétation disparaît, sauf le buis qui devient plus abondant. Le thym, la lavande, l'asphodèle subsistent également. On trouve surtout des chênes blancs, genévriers et quelques pins.

Dans les dépressions et les bas de pentes de la garrigue ou du Causse, le sol s'accumule sur une épaisseur permettant la culture. Dans la garrigue on trouvera de petites parcelles de vigne, souvent en terrasses. On ne cultive là que des variétés résistantes à la sécheresse produisant très

peu, et donnant par contre des vins excellents (Muscat, Grenache, Malvoisie, Carignan, Clairette, etc...) pouvant parfois atteindre 16° ou 17° d'alcool. Sauf exception (Muscat de Frontignan) ces vins sont produits en très faible quantité, sur de petites surfaces uniquement plantées de cépages « nobles ». Dans le reste du vignoble, on trouve un mélange de cépages nobles et de cépages à grosse production (Aramon par exemple) pouvant donner une plus grande quantité de vins moins alcooliques (11°, 12°) qui peuvent encore se classer parmi les « vins de qualité supérieure ». Si la proportion d'Aramon dépasse 30 % à 40 % le vignoble ne produit plus que des vins ordinaires, à degré plus faible.

En plus du vignoble, on trouve dans ces régions de nombreux oliviers, des amandiers, qui sont des arbres résistant à la sécheresse.

Sur les Causses, le climat ne permet aucune de ces cultures. On trouve quelques prairies et cultures de céréales. Les endroits rocheux incultes fournissent les mêmes productions que dans les garrigues : bois et moutons.

2) Sols à concrétions et à croûtes calcaires (2-3-9-27).

Les concrétions calcaires sont assez fréquentes dans les sols marneux. Elles sont particulièrement abondantes dans les marnes brunes à Potamides de l'Astien, les marnes jaunâtres de l'Aquitanién marin et certaines parties marneuses des cailloutis pliocènes calcaires d'origine locale. On peut en observer aussi dans les terrains marneux de l'Eocène supérieur et inférieur du Crétacé inférieur, de l'Helvétien, etc...

Divers aspects des horizons d'accumulation calcaire (18-19-20). — Ces horizons atteignent rarement la surface du sol à moins que l'érosion n'ait enlevé les couches superficielles. Ils commencent à partir de 30 et plus souvent 50, 70 cm., 1 m. de profondeur. On observe alors une sorte d'imprégnation diffuse irrégulièrement répartie formée de calcaire non individualisé en concrétions et communiquant au sol une coloration plus ou moins blanchâtre selon l'abondance du calcaire. Cette coloration tend à masquer celle du sol, et forme un horizon continu malgré les irrégularités.

Au sein de cet horizon, se trouvent souvent des concrétions plus ou moins arrondies, dont la grosseur peut aller de celle d'une tête d'épingle à celle d'une pomme, et qui résultent d'une concentration plus forte du calcaire. En effet, elles sont souvent constituées de calcaire blanc presque pur, qui peut aussi être plus ou moins souillé de matières terreuses. Ce calcaire est tantôt friable, pulvérulent, tantôt durci en noyaux pierreux. Au microscope il se révèle comme une poudre calcaire très fine.

Dans l'horizon de calcaire diffus, la concentration peut augmenter au point qu'il se prend tout entier en un banc de consistance tufacée. Les concrétions isolées elles-mêmes peuvent, sous la même influence, devenir très nombreuses, et se rejoindre également en un banc continu.

On a alors une véritable croûte calcaire, qui n'est pas sans rappeler celles de Tunisie, bien que sans doute il n'y ait pas identité absolue.

Il serait intéressant de savoir si, en terrain marneux homogène et profond, les concrétions existent dans toute l'épaisseur du terrain, jusqu'à 5 ou 6 m. par exemple. Dans ce cas on aurait affaire à un phénomène non limité aux horizons du sol, mais lié à la roche et de nature géologique plutôt que pédologique.

Dans la limite de ce que j'ai pu observer, il semblerait qu'il en soit ainsi.

Tel est aussi sans doute le cas des concrétions dans les terres rouges des garrigues. Ce sont des nodules arrondis, mais raboteux toujours durs et pierreux. Ils sont intérieurement jaunâtres ou jaune-rougeâtres) et de nature cristalline. Au microscope, ils se montrent comme formés de calcite bacillaire.

Lorsqu'une telle croûte s'approche suffisamment de la surface du sol pour gêner les labours elle est appelée « taparas » dans la région. C'est le cas des environs de Mauguio, où il semble que la croûte ait été profondément ravinée par les eaux qui l'ont ensuite recouverte d'une couche plus ou moins épaisse d'alluvions modernes.

Une telle situation semble explicable au moins en partie par l'hypothèse d'AGAFONOFF (2) : la croûte est antérieure aux sols qui la recouvrent, et sans relations avec eux.

Origine. — Le fait que les concrétions ou la croûte n'arrivent qu'accidentellement à la surface du sol (sans doute par érosion des horizons superficiels) donne à penser qu'elles ont été engendrées par un lessivage du calcaire *per descensum* plutôt que par un processus *per ascensum*. Or les conditions actuelles de climat et de végétation sont plutôt favorables au mouvement ascendant des solutions du sol. Le mouvement descendant existe au moment des pluies de printemps et d'automne, qui sont violentes, mais brèves. Pendant la plus grande partie de l'année se produit une évaporation superficielle intense, souvent décuplée par le mistral qui doit provoquer et faire dominer le mouvement ascendant.

Il devrait donc actuellement exister une tendance à l'accumulation superficielle des éléments solubles et en particulier du calcaire. Les concrétions et les croûtes ont par conséquent dû se produire à l'époque où la forêt d'Yeuses recouvrait tout le pays, créant un microclimat favorable au lessivage.

D'ailleurs de telles conditions existent encore par places sur des

étendues restreintes. Par exemple dans le Lutétien des sols gris foncé ou noirs humifères, sous-bois d'yeuse, ou de chêne blanc, dans les garrigues, présentant sous l'horizon humifère une couche d'accumulation de calcaire blanc pulvérulent très prononcée. L'horizon humifère n'est cependant pas décalcifié.

A certains endroits même, où le ruissellement est particulièrement abondant, il se dépose en plus sur des épaisseurs de plusieurs mètres des blocs de calcaire plus ou moins spongieux, tufacé, entremêlé de couches blanches pulvérulentes et de matière ferrugineuse jaune vif. On y trouve aussi des fragments de la roche mère calcaire fortement décomposé.

Il existe enfin des croûtes enfouies et manifestement anciennes.

Répartition. — A part le cas des nodules dans les sols rouges sur calcaire, les concrétions et croûtes se trouvent dans les sols marneux, sur marnes ou sur marno-calcaires. La présence des concrétions n'y étant pas constante ni régulière, ces sols seront décrits en tant que sol marneux.

Indiquons cependant les marnes brunes de l'Astien et les marnes jaunâtres de l'Aquitaniien, qui, aux environs immédiats de Montpellier possèdent presque toujours horizon d'accumulation calcaire.

C'est pourquoi ces terrains vont être décrits ici.

Sols bruns sur marnes de l'Astien. — Ces marnes lagunaires existent à Montpellier et au voisinage immédiat de la ville, en une couche de 0 m. 50 à 2 m. d'épaisseur. Elles sont assez sableuses, de couleur brune, devenant par places brun-ocre ou brun un peu rouge au point de pouvoir être localement classées dans les formations rouges (1). Elles présentent à peu près partout l'horizon d'accumulation calcaire déjà décrit (20).

L'horizon supérieur A_1 est en général brun, parfois brun-rouge de couleur moins vive que la roche mère et marno-sableux.

A part les concrétions calcaires, le sol ne présente pas de phénomènes évolutifs remarquables et ressemble à la roche mère. Ces terrains sont fertiles, couverts de vignobles ou de jardins. Les congressistes ont pu observer ce même sol près de Saint-Brès. Mais là, l'horizon A_1 avait été enlevé par érosion, et remplacé par un sol brun colluvial non calcaire.

Sols jaunâtres sur marnes de l'Aquitaniien (18-20-22). — La faible transgression aquitanienne s'est avancée jusqu'à quelques kilomètres au nord et à l'ouest de Montpellier. Elle a déposé des marnes bleues et des marnes jaunâtres claires. Ces dernières résultent peut-être de la transformation en limonite des grains de magnétite des marnes bleues, par un processus analogue à celui de la formation des calcaires bicolores (23).

La roche mère est souvent très riche en argile et en calcaire parfois assez sableuse et moins argileuse.

Le sol comprend un horizon A_1 légèrement humifère, jaunâtre-clair ou brun-jaunâtre clair, très peu différent de la marne, au-dessous duquel existe parfois un horizon (B_1 ?) jaunâtre avec quelques taches couleur rouille; enfin, au-dessous de B_1 on trouve B_2 horizon à concrétions, qui n'existe pas toujours.

Végétation, cultures. — Lorsque l'horizon calcaire se trouve à une assez grande profondeur, il semble n'avoir qu'une influence assez faible sur la végétation. Les qualités du sol sont alors celles des sols marneux qui sont en général fertiles.

La couche à concrétions ou à croûte peut se rapprocher de la surface. Le calcaire pulvérulent et presque pur des concrétions est très actif et peut causer la chlorose de la vigne (13).

Si la croûte est dure, elle peut gêner les labours et défoncements. Les trous de plantations sont plus difficiles à creuser dans le « taparas ». Dans certains cas, ce taparas semble ne gêner aucunement la végétation, même s'il est près de la surface (MAUGUIO).

Les horizons calcaires peuvent se trouver en plaine cultivée ou en garrigue. Dans ce dernier cas, il s'agit de garrigues sur calcaires crétacés, entremêlés de bancs marneux donnant un sol marneux jaunâtre, ou de guarrigues prenant naissance sur des terrains marneux profonds incultes à cause de la déclivité.

3) Sols humifères.

On peut les rencontrer sur n'importe quelle formation géologique. Leur existence est simplement liée à celle de la forêt, sauf en montagne, ainsi que nous l'avons vu à l'Aigoual, et on peut supposer que lorsqu'on les trouve dans un endroit déboisé, le déboisement doit être assez récent pour que l'humus forestier n'ait pas eu le temps d'être détruit. C'est ce qui arrive dans la Garrigue.

On peut les observer soit à la montagne, sous-bois de hêtres, de pins, ou de chênes blancs, soit dans les garrigues ou même dans la plaine, sous-bois d'Yeuses ou de pins d'Alep, en général sur de très faibles surfaces en îlots isolés.

Lorsqu'ils reposent sur roche calcaire, ils semblent devoir être assimilés aux rendzines. Ils sont bruns grisâtres, gris plus ou moins foncés, pouvant devenir presque noirs, renferment de nombreux débris du calcaire sous-jacent et sont peu épais. Ceux que j'ai observés jusqu'ici ne sont pas décalcifiés.

On peut supposer qu'à l'époque de la grande forêt méditerranéenne les sols humifères phytogéniques étaient plus répandus que maintenant.

Il devait exister presque partout un certain lessivage, par suite du microclimat, aboutissant dans les régions calcaires à une concentration de cet élément en profondeur.

Par suite des conditions de climat et de végétation et de la présence du calcaire, l'humus devait être doux, comme celui qui existe localement de nos jours. Ce manque d'acidité, joint au fait que beaucoup de sols sont argileux, peu perméables, limitait le lessivage et n'était pas propice à la podzolisation. Le lessivage ne semble pas avoir été assez intense pour provoquer la décalcification, sauf dans la terre rouge des garrigues.

A la suite de la disparition de la forêt, l'horizon humifère fut enlevé par l'érosion qui n'était plus freinée (8), ou bien l'humus a disparu, n'étant plus renouvelé. Il fut rapidement détruit par suite des nouvelles conditions climatiques (6). Il n'en reste que des témoins assez nombreux, mais isolés.

Le sol climatique humifère ayant disparu, les roches mères furent mises à jour, ce qui explique qu'actuellement nous n'avons plus que des sols jeunes ou squelettiques, aussi nombreux que les différentes roches mères. La genèse des sols est reprise à son début, sans cesse contrariée par l'érosion.

Sur le Causse on trouve par endroits (Saint-Maurice-Navacelle); des sols bruns-rougeâtres à un seul horizon peu épais sur roche calcaire et qui semblent se rapprocher des sols bruns de montagne de Bordas (5), mais conservent encore une certaine proportion de coloration rouge.

Dans la même région, sur un versant nord plus froid et plus humide, ce même sol brun-rougeâtre passe à un sol franchement brun, ce qui indiquerait une influence climatique.

Dans le lutétien au sud de Rouet (près de Saint-Martin-de-Londres), on observe de curieux profils; un sol noir calcaro-humifère (15-40 cm.) repose sur une couche très blanche de consistance marneuse un peu tufacée (15-50 cm, et jusqu'à plus de 1 m. 50), sous laquelle enfin se trouve du calcaire compact ou du calcaire blanc crayeux à silex.

La couche blanche, étant donné son homogénéité et l'épaisseur qu'elle peut atteindre, semble être un dépôt géologique plutôt qu'une zone d'accumulation calcaire.

Par places, elle manque et c'est alors le calcaire compact qui affleure, recouvert d'un mince sol brun-rouge.

Le sol noir semble donc lié à la roche blanche, laquelle doit contenir très peu de fer et ne peut sans doute, de ce fait, engendrer un sol rouge, par ferrugination.

Le temps m'ayant manqué pour faire une étude complète de ces profils que j'ai observé seulement en mars dernier, les opinions précédentes ne peuvent être que provisoires.

D'autre part, on peut se demander si parfois, et contrairement à ce qui vient d'être dit, l'humus ne pourrait pas être produit actuellement dans certains endroits assez déboisés (C. F. genèse des sols rouges).

Végétation. — Cultures. — Nous avons vu que c'est la forêt qui est favorable à l'accumulation humifère. Les sols humifères que j'ai observés jusqu'ici correspondent à des espaces incultes. Dès que la culture intervient, l'aération du sol, jointe à l'action du climat méditerranéen en milieu calcaire, empêche l'humus de subsister.

II. — SOLS AZONAUX

1^o SUR ROCHES DURES NON CALCAIRES.

a) *Sur roches éruptives acides et cristallophylliennes.*

Sont très répandus dans la région de l'Espinouze sur granite ou gneiss.

Il sont en général, bruns ou bruns-grisâtres, légers, sablonneux, graveleux, peu épais, parfois tourbeux. Nous avons vu qu'à l'Aigoual ils peuvent être rougeâtres.

La végétation consiste en bois de hêtres, chênes blancs, pins; les châtaigniers se raréfient avec l'altitude et sont peu nombreux sur le plateaux ondulé de l'Espinouze.

On trouve aussi des landes avec genêts à balais, bruyères, ajoncs, fougères. Les reboisements sont souvent incendiés.

Il existe aussi des prairies, des céréales, des cultures de pommes de terre, et l'élevage des bovidés et ovins.

Ces pays sont les plus pauvres de la région en raison du peu de fertilité du sol, et du climat froid.

b) *Sur roches éruptives basiques.*

On trouve des épanchements basaltiques en plusieurs points : ils commencent au sud à Adge, Saint-Thibéry, puis remontent vers le nord où ils apparaissent dans les ruffes de Lodève, puis l'Escandorgue jusque sur le Larzac vers le Caylar. En dehors de cette traînée nord-sud existent quelques petits îlots à Montferrier, Grabels, Maguelonne.

On trouve aussi de la porphyrite près de Gabian.

c) *Sur grès siliceux et calcaires silicifiés.*

Les grès sont très fréquents dans le Cambrien, le Silurien et le Carbonifère de la Montagne Noire. Il existe aussi des bancs de grès siliceux intercalés dans les marnes rouges du Maëstrichtien. Enfin des calcaires partiellement ou totalement silicifiés existent dans le Bajocien et le Lutétien.

Les sols sont plus ou moins rouges ou grisâtres, et portent une végétation silicicole.

d) *Sols sur schistes sédimentaires* (21).

Ils occupent de vastes étendues à altitudes variées, dans le Cambrien, le Silurien et l'Anthracolitique de la Montagne Noire.

Roche mère. — Schistes de couleurs variées, gris, jaunâtres, rougeâtres, violets, verdâtres, gris-bleutés, noirs. Ils deviennent souvent bruns par altération. Ils sont souvent micacés, gréseux ou mêlés de bancs de grès siliceux et parfois de couches calcaires. Ils peuvent contenir des nodules siliceux ou être traversés par des filons de quartz laiteux. Dans les schistes du Viséen inférieur on trouve des lits de lydienne noire et des nodules phosphatés.

Les sols sont argileux, bruns-jaunâtres, bruns-grisâtres, bruns-gris-rosés, parfois bruns-rougeâtres, bruns-ocre-jaunâtres, ocre clair. GÈZE a observé des formations rouges sur schiste de la Montagne Noire, mais ce sont des paléo-sols.

Les débris de schiste, grès micacé, quartz laiteux y sont abondants, parfois au point de former un véritable cailloutis.

Sur les sommets, le sol tend à devenir plus léger, sableux, graveleux, pierreux, l'argile ayant tendance à s'accumuler dans les bas-fonds en donnant des sols compacts.

Le plus souvent, le sol est entièrement siliceux, mais par place, il peut contenir des traces de calcaire provenant des quelques bancs calcaires mêlés aux schistes. Sauf dans les dépressions où s'accumulent les produits du ruissellement, le sol est très peu épais et la roche nue apparaît assez souvent.

Ce sont des sols produits par l'altération de la roche mère mais n'ayant pas encore subi d'évolution sensible.

Au point de vue agricole ils sont en général assez pauvres.

Situation géographique. — Végétation, cultures. — Nous sommes dans une région montagneuse. Les altitudes vont en général de 100 à 800 m. mais peuvent dépasser 1.000 m. au nord de l'Espinouze.

Dans les parties les plus basses, sur le versant Sud de la Montagne Noire, nous aurons la végétation et les cultures méridionales avec de nombreuses plantes silicicoles.

Les bois sont nombreux, peuplés d'yeuses, kermès, chênes blancs, châtaigniers, arbousiers, lentisques, fougères. Dans les espaces incultes poussent des bruyères variées (*B. arborescente*, *B. cendrée*, *Calluna*), les genévriers, genêts d'Espagne, de nombreux cistes (*C. cotonneux*, *C. de Montpellier*, *C. Ladanifère*), la lavande Stechas.

Dans les endroits frais on trouve le frêne, le noyer, le noisetier.

Les cultures sont la vigne, l'olivier, l'amandier. C'est là que se pro-

duisent en partie les vins de qualité, des côtes de l'Orb et du Vernazobre, donnés par des vignes à très faible rendement. Sur des pentes sèches bien exposées au sud au-dessus de 250-300 m. le froid s'oppose à l'obtention du vin de qualité. Les vallées sont un peu plus fertiles.

A mesure que l'on monte, vers 600 m. cesse le climat méditerranéen. La vigne, l'olivier, l'Yeuse, le kermès, l'arbousiers, le lentisque, le genêt d'Espagne, les cistes disparaissent. La vigne et l'olivier n'arrivent même pas à cette altitude. Le châtaignier reste, accompagné de chênes blancs, hêtres, frênes. On trouve des Landes avec genêts à balais, bruyères diverses, fougères, ainsi que des cultures de céréales et des prairies.

Le pays schisteux n'est pas d'une pauvreté absolue. Lorsque la pente n'est pas exagérée et permet l'accumulation d'une certaine épaisseur de sol, la culture est assez profitable.

e) *Sols sur argilolithes* (Ruffes).

Il est principalement question ici des *Ruffes de Lodève*, sédiments intermédiaires entre les schistes et les argiles et plus ou moins gréseux que l'on peut classer parmi les argilolithes. Ils se rapprocheraient plutôt des schistes que des argiles, car ils forment souvent des bancs assez durs. Ils sont siliceux.

Ils occupent une vaste surface dans la région de Lodève à laquelle leur couleur rouge-chocolat-sombre donne un aspect caractéristique.

Une seule étude de sols a été faite jusqu'ici sur des formations analogues : le Rougier de Camarès. Mais c'est dans une zone à climat différent de celui des Ruffes (25).

La région des Ruffes attire immédiatement l'attention par cette couleur d'un rouge particulier, ne ressemblant ni à celui des sols rouges sur calcaire, ni à celui du faciès Rognacien.

Sur les collines, les touffes d'yeuses forment par leur couleur vert-sombre un contraste curieux avec la teinte rouge du sol, laquelle n'est pas due à une rubéfaction par processus bio-chimique mais simplement au fait que ce sol peu évolué, a conservé la coloration de la roche mère.

Les vallées sont plantées de vignobles.

2° SOLS SUR ROCHES ARGILEUSES.

A. — *Sols sur argiles.*

a) *Sols rouges sur argiles rouges.*

Il sont très rares et peu étendus, quelques petits îlots dans l'Eocène inférieur-Rognacien.

L'ensemble est entièrement siliceux. De nombreux graviers de quartz roulé se rassemblent à la surface.

La végétation consiste en bois de pins d'Alep avec romarin, genêt-

scorpion, ciste, bruyère multiflore, *Calluna*, Bruyère arborescente, Lavande stéchas.

b) Sols sur argiles non rouges.

On peut les trouver dans les bas-fonds des régions schisteuses. Ce sont en somme des sols colluviaux provenant de l'entraînement et l'accumulation de l'argile dérivée du schiste.

Ils ressemblent aux sols argileux sur schistes, auxquels ils passent latéralement.

B) Sols sur marnes.

a) Sols rouges sur marnes rouges (21).

On les trouve sur les marnes rutilantes et bariolées du Rognacien, Vitrollien, Eocène inférieur, Bartonien, aux environs de Montpellier et dans la région de Saint-Chinian.

Roche mère. — Elle est constituée de marnes dont la couleur dominante est le rouge-ocre vif, souvent bariolées de taches jaunes-ocres ou lie-de-vin et mêlées de bancs gréseux siliceux ou silico-calcaires, poudingues calcaires, grès ferrugineux, calcaires bréchoïdes bigarrés. Leur puissance est parfois considérable.

Le sol est brun-rouge-chocolat, de couleur moins vive que la roche mère, et d'une épaisseur de 30-50 cm. Il doit cette coloration à un faible enrichissement superficiel en humus. A part cette couche superficielle, on n'observe pas d'autre horizon que la roche mère. Ce sol est donc très jeune, à peine différent de la roche mère.

La coloration rouge est donc due non à une évolution du sol mais à la roche mère dont les panachures se fondent en une seule teinte par suite du brassage dû à l'activité biologique ou à la culture.

Nous sommes ici dans la catégorie n° 1 indiquée par MARCELIN dans son essai de classification des formations rouges du Gard (15) et qu'il a appelée ensuite « terres lithochromes » (16).

La proportion de calcaire dans les sols est en général suffisante. Mais parfois le calcaire est très peu abondant et peut manquer tout à fait, soit parce que la roche mère est uniquement argileuse, soit par l'influence des bancs de grès ou poudingue siliceux.

Leur fertilité est moyenne, pouvant devenir faible.

Situation géographique. — Végétation, culture. — Les marnes rouges occupent des fonds de vallée ou des flancs de coteau, dans la région des garrigues ou dans la plaine.

Ils sont en général couverts de vignobles, sauf sur les déclivités trop fortes ou lorsque les bancs rocheux apparaissent. Il s'établit alors une végétation de garrigue : kermès, genêt scorpion, genévrier, buis, romarin,

ciste cotonneux, ciste de Montpellier, bruyère multiflore, lavande. Lorsque le calcaire manque on peut voir apparaître la calluna et la bruyère à balais. Ça et là se trouvent des bois de pin d'alep.

Dans les bas-fonds ou vallées, la vigne peut donner des rendements moyens. Dès qu'on se trouve à flanc de coteau, ou à proximité d'un banc rocheux, la production devient faible.

b) *Sols sur marnes non rouges.*

Ils sont très répandus partout, sauf naturellement dans les régions granitiques et schisteuses de la Montagne Noire. Il en existe sur les marnes du Pliocène (Astien), Miocène (Helvétien) (Aquitaniens), Oligocène (Stampien, Sannoisien), Eocène, Crétacé (Valanginien), Lias (Aalenien, Toarcien), Trias (Keuper).

Les affleurements marneux correspondent en général à des régions de vignobles, sauf lorsque la déclivité trop accentuée interdit la culture.

Les sols dérivés de ces marnes présentent assez souvent un horizon d'accumulation calcaire (C. F. plus haut les sols à concrétions).

Ces marnes et les sols qu'elles engendrent étant assez différents, il est nécessaire de les décrire séparément. Nous verrons successivement les sols jaunes, les sols jaunâtres et les sols bruns.

Sols jaunes. — On les trouve principalement dans l'Eocène supérieur, et parfois l'Aquitaniens-Stampien. J'ai observé jusqu'à présent l'Eocène supérieur des régions suivantes : Prades, Montferrier, Clapiers, environs de Saint-Gely, vallée de l'Hérault (Gignac, Aniane, Popian, Saint-Jean-de-Fos), Restinclières, Saint-Drezery, Teyran, Assas Cuzargues, Tréviers, Valflaunes, Saint-Martin-de-Londres, Fontfrège, et l'Aquitaniens-Stampien de Saint-Bauzille-du-Putois à Montoulieu.

L'Eocène supérieur est constitué par un complexe de marnes, grès, poudingues, calcaires, dont l'âge est souvent resté imprécis, sauf pour les calcaires lacustres du Lutétien.

Les sols engendrés seront donc très variés. Occupons-nous des cas dans lesquels un banc marneux affleure sur un espace assez vaste.

La roche mère est une marne jaune, jaune-ocre, jaune-safran, jaunâtre, ou jaune-rougeâtre, ou bariolée jaune et lie-de-vin, parfois tachée de concrétions calcaires blanches pouvant plus rarement former un horizon continu.

Les sols sont marneux, parsemés de galets calcaires souvent très abondants. Leur couleur est jaune-brun-clair, jaunâtre-clair, plus ou moins ocre, jaune-brun-rosé, brun-jaunâtre ou grisâtre, et par places brun-humifère.

Le plus souvent on n'observe au-dessus de la roche mère qu'un horizon A₁ peu différent, légèrement humifère.

Les concrétions existent surtout lorsque A₁ devient plus riche en

humus, brun plus ou moins foncé. On constate alors sous A_1 la présence d'un horizon B_1 de marne tachée de concrétions blanches. B_1 peut devenir une accumulation continue de calcaire, de couleur claire (jaune-ocre-clair au sud de Valfaunes) parsemée de concrétions blanches pulvérulentes. L'horizon de Gley qu'y décrit BRAUN-BLANQUET (Tour de Piquet) semble plutôt être simplement la roche mère bariolée de rouge, jaune, lie-de-vin.

Ces sols sont en général couverts de vignes. Les oliviers sont nombreux au voisinage de l'Hérault. Lorsque la pente empêche la culture, on observe une végétation de garrigue : kermès, yeuse, quelques chênes blancs, genévriers (commun et oxycèdre), lentisques, genêt scorpion, romarin souvent abondant, cistes, thym, lavande, et souvent des bois de pin d'Alep. La bruyère multiflore abonde dans les bois de Fontfiège sur le Lutétien détritique.

Dans la plaine basse de l'ouest de Saint-Martin-de-Londres, l'humidité semble nuire à la végétation : les vignes sont faibles, les terrains en friche nombreux, la végétation des endroits incultes est différente : genévrier, chêne blanc, buis, thym, lavande.

Les régions de sols jaunes ont un aspect particulier, par suite de la végétation des endroits incultes ressemblant à celle que nous rencontrerons plus loin sur le Néocomien : bois de pins et garrigues à romarin, couvrant les coteaux. La vigne se trouve surtout dans les vallons mais peut aussi exister sur les pentes.

L'Aquitaniien-Stampien qui occupe une vallée entre Saint-Bauzille-du-Putois et Montaulieu donne des sols assez semblables.

La roche mère est formée de marnes jaune-vif interrompues par des bancs de poudingues calcaires.

Les sols sont jaunes ou jaune-ocre, de couleur vive, parfois bruns-rougeâtres, sans concrétions.

La vigne occupe la vallée, laissant la place sur les pentes fortes à des terrains incultes où poussent seulement quelques genévriers au milieu d'une herbe haute.

Les sols jaunâtres. — On les observe dans le Trias (Keuper), le Lias, l'Helvétien, l'Aquitaniien, le Stampien, le Sannoisien, le Lutétien, l'Eocène inférieur.

Keuper. — J'ai pu observer les affleurements de la région de Saint-Chinian, qui occupent, en général des bandes anticlinales allongées et assez étroites.

La roche mère est très variée : grès, argiles, versicolores, marnes bariolées, marnes dolomitiques, calcaires dolomitiques.

Le sol est marneux, marno-sableux, plus ou moins pierreux, brun-grisâtre ou gris-jaunâtre, parfois très semblable à celui de l'Helvétien

que nous verrons plus loin dans ce même chapitre. Il peut passer au brun plus ou moins rouge par mélange avec des formations voisines.

Ces sols occupent souvent des fonds de vallon et sont assez fertiles, cultivés en vignes. Mais d'autres fois leurs vignobles sont à flanc de coteau ou dans des vallons étroits, surélevés, devenant assez arides, de sorte qu'ils sont peu productifs.

Toarcien-Aalenien. — On peut en observer au Pic Saint-Loup et dans la région de Saint-Georges-Murviel.

La roche mère est assez particulière. Le dénominatif de marne lui convient à peine. C'est, en effet, un sédiment gris-foncé, marno-gréseux, se réduisant en petits agrégats schistoïdes. C'est une sorte de marne durcie, à tendance schisteuse, que l'on peut qualifier de marnolithe.

Les affleurements occupent des combes et des flancs de coteau profondément ravinés par l'érosion.

Le sol est brun-grisâtre-jaunâtre de couleur terne, assez argileux et compact dans les bas-fonds, devenant jaune-grisâtre un peu plus haut.

Les parties assez planes sont en vignobles. Dans les endroits ravinés, la roche mère est à nu et presque entièrement stérile.

Helvétien (21-22). — La transgression helvétique a produit une abondante sédimentation à l'ouest de Montpellier dans les fonds de vallée et la plaine littorale et parfois vers le nord dans les garrigues (Saint-Saturnin, Montpeyroux).

Il est constitué de bancs de calcaire molasse alternant avec des grès marneux et des marnes sableuses gris-bleu ou jaunâtres.

Les sols sur marne sont en général jaunâtre-clair, gris-jaunâtre ou brun-jaunâtre, marno-sableux. Ils présentent assez rarement un horizon d'accumulation calcaire, sous forme de concrétions blanches peu abondantes. A part cela, il n'existe qu'un horizon A_1 un peu humifère, légèrement différent de la roche mère.

Ces sols, grâce à leur excellente composition physique sont très fertiles et couverts de vignobles à forte production.

Parfois cependant l'Helvétien remonte un peu les pentes des garrigues et repose sur les roches calcaires. Il existe aussi des mamelons d'Helvétien occasionnés par des bancs calcaires recouverts d'une assez faible épaisseur de marne. Dans ces deux cas, le sol est souvent peu profond. Sa position en sommet ou à mi-pente le rend sec.

Aquitaniien et Aquitaniien-Stampien. — L'Aquitaniien a été vu plus haut. Lorsque le sol ne présente pas de concrétions calcaires, il diffère assez peu de la roche mère.

Il est parfois trop en pente pour être cultivé. Il s'y installe alors une végétation de garrigue (genêt scorpion, genévrier, thym, lavande

et parfois kermès, lentisques, romarin). On peut aussi y observer localement une érosion très accentuée. Les bas-fonds sont marécageux.

Il existe au nord-est du département (Campagne) un affleurement d'Aquitaniens-Stampiens dans une grande dépression plane et humide. Les sols ressemblent assez à ceux de l'Aquitaniens. Ils sont marneux, jaunâtre clair, brun jaunâtre, ou bruns.

Ici, la culture de la vigne est concurrencée par celle des céréales et les prairies, rendue possible par l'humidité.

Sannoisien. — Affleurements observés : Buzignargues, Saint-Vincent-de-Barbeyrargues, Montarnaud.

La roche mère est tantôt calcaire, tantôt marneuse jaune ou blanc jaunâtre.

Les sols sur marne sont jaunâtres ou blanc jaunâtre, ressemblant à ceux de l'Aquitaniens. Mais parfois un banc calcaire sous-jacent diminue l'épaisseur du sol qui devient pierreux et plus léger et passe au brun rougeâtre si le banc calcaire est près de la surface.

Lorsque la marne domine on a des vignobles sinon c'est la garrigue.

Lutétien détritique (plaine de Jacou) et Eocène inférieur (Saint-Geniès). Sols jaunâtres, brun jaunâtre, ou bruns. Vignobles, oliviers.

A Assignan, dans l'étage du grès d'Assignan, on trouve d'épaisses couches de marnes bigarrées, jaunes et lie-de-vin, pouvant donner des sols brun jaunâtre. Ce faciès existe aussi aux environs de Montpellier.

Sols bruns. — Les plus caractéristiques sont ceux de l'Astien vus dans le chapitre des sols à concrétions.

D'autres moins nets, existent dans le Bartonien de Montagnac.

C'est une région de coteaux et de vignobles.

Végétation, culture des sols sur marne. — On voit par l'exposé précédent que les sols sur marnes rouges ou non rouges sont en général peu évolués. Leurs caractères et en particulier leur couleur sont peu différents de ceux de la roche mère, sauf dans les îlots où l'humus tend à s'accumuler en donnant un sol brun.

Ils constituent, sauf en coteau, les endroits les plus favorables à la production des vins ordinaires.

3) *Sols jaunâtres sur calcaires marneux.*

Cette dénomination s'applique principalement aux sols du Néocène, qui occupe de vastes surfaces dans le nord-est du département.

On peut également classer dans cette catégorie une partie des sols de l'Eocène supérieur, quoiqu'ils soient moins typiques que les précédents, de même pour le Ludien.

Sols sur le Néocomien (21) (Berriasien, Valanginien, Hauterivien). — La roche mère est en général constituée de bancs assez peu épais alternativement calcaires et marneux. L'ensemble peut atteindre une épaisseur de plusieurs centaines de mètres, comme on peut s'en rendre compte sur la coupe monumentale présentée par les pentes abruptes du Causse de l'Hortus à Pompignan. Ce sont les derniers sédiments marins déposés avant l'émersion de la fin de l'Hauterivien.

Les calcaires gris, compacts, souvent cristallins ou blancs grisâtres ou jaunâtres et bicolores, presque toujours marneux. Dans le Valanginien supérieur ils sont souvent moins marneux et constitués de gros cristaux de calcite, leur donnant un aspect miroitant.

Entre les bancs calcaires sont intercalées des couches de calcaire sehistoïde très marneux ou de marne jaunâtre. La marne domine parfois (Valanginien inférieur). D'autres fois l'horizon devient extrêmement calcaire, peu marneux et donne des sols rouges non étudiés ici. Cela peut arriver dans le Valanginien inférieur, le Berriasien, le Hauterivien (région de Jacou, Teyran, Vendargues), mais surtout le Valanginien supérieur dont la falaise imposante couronne le sommet du Causse de l'Hortus.

Sols. — On assiste à la formation du sol à partir du rocher dénudé : celui-ci se couvre d'abord de débris plats ou noduleux de roche désagrégée, entremêlés d'un peu de terre jaunâtre, le tout n'ayant que quelques centimètres d'épaisseur.

Un peu plus loin le sol devient un peu plus épais (10-20 cm.) encore squelettique, criblé de graviers et débris de roche, mais déjà marneux.

Puis son épaisseur augmente : vers le bas des pentes ou dans les faibles dépressions, il atteint facilement 1 m. de profondeur. Il est nettement marneux, toujours plus ou moins pierreux. Par places on trouve même de véritables cailloutis (Claret, Lauret, Valflaunes). C'est là qu'on observe assez fréquemment, à partir de 50 cm. un horizon d'accumulation calcaire, sous forme d'imprégnations diffuses.

Enfin, dans les vallées ou larges cuvettes, l'épaisseur devient maxima. Les cailloux sont moins abondants. Le sol est là en grande partie colluvial. Il est apporté de la garrigue par ruissellement. Il est même parfois désigné comme alluvions sur la carte géologique (Claret, Lauret).

Nous avons donc plusieurs sortes de sols, mais ils sont trop peu étendus, et trop enchevêtrés pour être distingués.

On ne peut retenir que les caractères d'ensemble : couleur jaunâtre, nature marneuse, substratum rocheux, et végétation particulière.

Les sols seraient rouges s'ils étaient engendrés par des calcaires purs, ainsi qu'on peut s'en rendre compte en de nombreux endroits où le calcaire domine.

Mais d'une part les calcaires sont presque toujours marneux, et d'autre part les nombreux bancs de marne jaunâtre intercalés ont une influence prépondérante dans la genèse du sol. De sorte que, à part les îlots de sols brun ocre ou brun rougeâtre sur calcaire seul, l'ensemble est jaunâtre ou brun jaunâtre, avec parfois des accumulations humifères d'un brun plus foncé, ou plus rarement, des teintes gris jaunâtre clair.

Les sols bruns rouges sont parfois décalcifiés sur le Valanginien supérieur et même le Berriasien (pH=6,7 sur le Causse de l'Hortus, vers Claret).

Aspect géographique. — Végétation, culture. — Cette région présente un aspect particulier. Elle forme un îlot dans lequel l'horizontalité des sédiments a été peu dérangée par les plissements pyrénéens, sauf vers l'ouest. Les montagnes ont ainsi un relief tabulaire et présentent une allure de Causses (Causse de Pompignan, Claret, Valflaunes, Notre-Dame-de-Londres, d'une altitude moyenne de 300 m. se relevant jusqu'à 512 m. à la montagne de l'Hortus) et lambeau de Causse de Saint-Bauzille de Montmel).

Les hauteurs moins importantes forment des garrigues aplaties par suite de l'horizontalité des couches et de la résistance relativement faible des sédiments à l'érosion.

Causses et garrigues portent la végétation habituelle : pin d'Alep, yeuse, kermès, genévrier, buis, romarin, thym, lavande avec cependant certains caractères particuliers qui différencient la garrigue néocomienne de la garrigue jurassique : le pin d'Alep est souvent présent, soit clair-semé, soit en bois plus ou moins étendus. Le romarin abonde presque toujours et constitue assez souvent l'espèce dominante. Il manque cependant parfois, surtout sur les sols rouges, ressemblant à ceux du Jurassique, plus rarement sur les sols jaunâtres. Sa rareté et même son absence dans le nord du département, bien que sur sols jaunâtres (Causse de l'Hortus, Ganges, Montoulieu) semble due à l'influence d'un climat plus humide et plus froid. Et même sur le Causse, il semble parfois moins abondant sur sols jaunâtres que sur sols rouges. Le genêt scorpion, le lentisque, le genêt d'Espagne sont rares.

Ce même mésoclimat favorise par endroit la croissance du chêne blanc (Causse de l'Hortus, Notre-Dame-de-Londres).

Ailleurs on voit de vastes étendues couvertes uniquement de thym et lavande, avec parfois de gros yeuses isolés, reliques sans doute de l'ancienne forêt (sud Sauteyrargues).

La végétation est plus variée et plus riche que dans le Jurassique, en raison de la plus grande fertilité du sol.

Malgré les vastes étendues de garrigues, les surfaces cultivables sont

plus importantes que dans le Jurassique : le rocher néocomien plus tendre que le calcaire jurassique se transforme plus facilement en sol.

Les cultures sont celles de la zone des garrigues : vigne, olivier, amandier. Dans les plaines ou bas-fonds, le sol est assez profond, la vigne peut donner d'assez bons rendements, mais la garrigue réapparaît un peu partout et prolonge ses bancs rocheux horizontaux sous les terres cultivées. Par suite de cette disposition, il arrive que, sur d'assez grands espaces cultivés et plats, possédant apparemment un sol profond on trouve au contraire le rocher à faible profondeur et la vigne y souffre de la sécheresse.

Il existe enfin des vignobles à flanc de coteau, qui produisent des vins de qualité, bien que l'aridité y soit moindre que sur les coteaux jurassiques.

Sols sur l'Eocène supérieur. — Nous savons que l'Eocène supérieur n'est pas constitué seulement des marnes jaunes examinées précédemment, mais aussi de bancs rocheux calcaires intercalés : poudingues, grès, calcaires blancs crayeux ; le tout formant une épaisse série de sédiments détritiques continentaux ou lacustres.

Les différents bancs marneux ou rocheux calcaires sont plus épais que ceux du Néocomien de sorte que selon que l'un ou l'autre vient en affleurement, on a soit un sol jaune sur marne, soit un sol rouge sur calcaire.

Mais lorsque l'affleurement se compose des différents strates le sol engendré provient à la fois de la marne et du calcaire et rentre dans le groupe des sols étudiés dans ce chapitre.

Cela arrive sur les coteaux où la pente coupe les couches successives. C'est dans ces conditions, plus encore que sur la marne seule, qu'on trouve les bois de pins et garrigues à romarin, décrits précédemment qui provoquent une ressemblance avec le paysage néocomien, malgré la couleur plus vive du sol.

Les sols sont comparables aux sols sur marne, mais de profondeur très irrégulière. Leur couleur est parfois nuancée d'un peu de rouge provenant de l'action du calcaire. Les galets provenant de la désagrégation des poudingues sont très nombreux et de provenances variées.

Sols sur le Ludien. — Des conditions un peu semblables semblent réalisées sur le Ludien (Saint-Martin-de-Londres, Sommières, Campagne) où l'on observe des sols jaunâtres, brun jaunâtre, brun rougeâtre, marneux, plus ou moins pierreux.

4° Sols sur tufs calcaires.

Encore non étudiés. Petits îlots ça et là, en particulier au bord du Lez (Castelnau, Lavalette).

Ce sont des sédiments blanc jaunâtre, friables, contenant de nom-

breuses empreintes végétales, ou plus durs et formés de couches de calcaires superposées.

5° *Sols sur dolomie* (21).

Les calcaires dolomitiques sont assez répandus dans l'Hérault, parsemés çà et là de dolomie pure.

On les rencontre dans le Géorgien et le Devonien inférieur de la Montagne Noire, le Trias et le Lias inférieur (région de Saint-Chinien, pente du Larzac).

La dolomie peut apparaître dans tous les étages de l'Oolithe, mais semble surtout importante dans l'Oolithe inférieur, et en particulier le Bathonien (Mourèze, Saint-Guilhem-le-Désert, Moulin de Bertrand, causse du Larzac).

Roche mère. — Dans l'Hérault la dolomie pure est en général grise ou gris jaunâtre, parfois rose, et un peu rude au toucher, assez souvent bréchoïde. Sa cohésion est faible et l'érosion la sculpte facilement en lui donnant un aspect ruiniforme. Elle ne fait pas effervescence au contact d'un acide. Sa tendance à être friable fait qu'elle dégage une poussière, une « fumée » sous le choc du marteau.

Elle n'occupe que des surface restreintes. Les grands espaces dolomitiques sont soit des calcaires dolomitisés, soit des mélanges de couches alternativement dolomitiques et calcaires.

Sols. — Les sols engendrés seront donc de deux sortes selon qu'ils seront sur dolomie ou sur calcaire dolomitique. Notons dès maintenant que l'humus s'y accumule plus facilement qu'en sol calcaire.

Dolomie pure. — On la trouve un peu partout, mais les localités les plus remarquables sont Mourèze, Saint-Guilhem, et certains points du Larzac.

La désagrégation de la roche semble tout d'abord être surtout mécanique et aboutit à la formation d'un sable cristallin blanchâtre qui s'accumule dans les dépressions et ravins du paysage ruiniforme. Il est constitué des cristaux de la roche libérés par l'érosion.

Par places ce sable se charge d'humus et donne un sol gris, gris jaune clair, brun, brun noir, gris brun ou brun rougeâtre, dépourvu de calcaire et parsemé de cailloux dolomitiques.

La végétation est pauvre et clairsemée, le paysage est désertique. A Mourèze on trouve : bruyère multiflore, romarin, yeuse, genévrier de Phénicie, quelques pins parasols et genêts scorpion. Les plantes forment un fouillis dans les fonds de ravin humides aux parois moussues.

Hors du chaos rocheux, quelques vignes sont cultivées sur un sol colluvial pierreux, sablonneux, grisâtre, semblable au précédent, mais plus profond, avec des prairies au bord du ruisseau.

Un état de choses à peu près semblable peut se trouver à Saint-Guilhem.

Aux altitudes plus fortes (sommet du Causse, vers 600 m. au sud de la Vacquerie) la végétation méditerranéenne fait place à un ensemble encore plus désertique constitué seulement de buis, chêne blanc, genévrier, et quelques asphodèles. Le sol est le même que précédemment, quoique peut-être plus humifère.

Calcaire dolomitique. — Vastes espaces à caractères intermédiaires entre ceux des régions calcaires et ceux des régions dolomitiques. Le sol n'est plus uniquement gris ou brun. Il est souvent teinté de rose, de rouge, ou d'ocre, et peut devenir calcaire.

Le paysage cesse d'être cahotique et peut être cultivé, comme dans l'Hettangien des environs de Saint-Chinian.

Les régions dolomitiques semblent plus pauvres encore que les régions uniquement calcaires.

Sur les calcaires dolomitiques, l'équilibre des éléments constitutifs du sol est meilleur. La présence d'un peu de MgO ne peut qu'être favorable.

6° Sol sur cailloutis (21-22).

Beaucoup de sols sont pierreux dans l'Hérault, ainsi qu'on l'a vu dans les chapitres précédents. Mais il n'est question maintenant que des sols ayant comme roche mère un cailloutis, et qui sont également assez répandus.

Je citerai seulement ceux que j'ai observés : cailloutis calcaires, des éboulis de pentes et alluvions anciennes (Arboras, Saint-Saturnin, Montpeyroux, Saint-Jean-de-Fos, Jonquières, Aniane, Gignac, Montbazin, Frontignan) ou du Pliocène (Saint-Georges-d'Orques, Cruzy, Quarante); cailloutis siliceux des alluvions modernes ou anciennes (bords du Vernazobre) ou du Pliocène (Saint-Georges-d'Orques, Sauvian, Serignan, Valras, Laurens).

Ces différentes formations sont souvent rouges mais pas toujours. Ne sachant pas encore si dans notre région la couleur rouge de ces sols est due à une évolution bio-physico-chimique ou simplement à la nature de la roche mère, je les classe provisoirement et pour simplifier parmi les sols peu évolués.

A) Cailloutis calcaires.

Éboulis de pentes et alluvions anciennes. — Ce sont des débris provenant des garrigues voisines. Ils se sont accumulés au bas des pentes (éboulis) et plus loin peuvent s'étaler dans les vallées (vallée de l'Hérault de Gignac à Arboras et Saint-Jean-de-Fos).

La roche mère est constituée de cailloux calcaires anguleux mêlés

de graviers, sable et d'une proportion variable de marne. Les cailloux peuvent être en partie dolomitiques (Saint-Saturnin). La roche mère repose souvent sur les marnes helvétiques et son épaisseur, très variable, peut atteindre une quinzaine de mètres. Sur les bords de l'affleurement, ou son épaisseur devient très faible, elle se mélange souvent avec la marne helvétique.

Sa couleur est brun rouge, brun ocre. L'influence de la dolomie atténue la couleur, qui passe au brun rosé.

Cette roche n'est en somme que la terre des garrigues, avec ses cailloux, qui est descendue dans la vallée par ruissellement, sans grande modification.

Le sol diffère peu de la roche mère : il est brun rouge, brun rosé, ou brun, non décalcifié, perméable et sec.

Il existe souvent en profondeur un banc de conglomérat calcaire, contenant les mêmes cailloux que le sol, et que l'érosion peut découvrir. Il est possible que ce conglomérat soit dû à une accumulation calcaire provenant d'un lessivage de l'horizon superficiel, mais ce lessivage n'est pas évident en surface.

Cailloutis pliocènes calcaires d'origine locale. — Pratiquement ils diffèrent peu des précédents. Il semble cependant préférable de les étudier séparément parce qu'ils sont peut-être un peu plus évolués. Ils présentent aussi quelques autres dissemblances.

Ils occupent en général des sommets ou des versants de mamelons ou de plateaux. Les cailloux qui les constituent sont arrondis par ruissellement : on y retrouve les différentes sortes de calcaires des garrigues.

Entre les cailloux se loge une terre tantôt brun rouge plus ou moins argileuse, de couleur vive (Saint-Georges) tantôt jaunâtre (Quarante). Cette couleur jaunâtre provient du mélange des cailloutis, avec un limon qui l'a peut-être empruntée lui-même à la marne helvétique voisine à l'époque du ruissellement. De même à Cruzy, la couleur brun rouge clair semble provenir des formations rouges de la région de Saint-Chinian, dont les cailloutis sont en partie issus.

De même que précédemment ils reposent souvent sur le Miocène et peuvent présenter à une certaine profondeur un poudingue calcaire.

On peut y trouver, vers 50-60 cm., un horizon d'accumulation calcaire, semblable à celui des sols à concrétions, mais surtout lorsque les cailloux deviennent plus rares et l'argile plus abondante.

Le sol enfin a deux aspects différents : tantôt il est à peu près semblable à la roche mère et, dans ce cas, ce n'est peut-être que la roche mère elle-même découverte par érosion. Ailleurs il est de couleur terne (brun, brun gris, brun jaunâtre) très pauvre en argile et particulièrement léger, et représente peut-être un reste de l'ancien sol épargné par l'érosion.

Dans d'autres cas, il peut prendre cette couleur par mélange avec la masse miocène sous-jacente.

B) *Cailloutis siliceux.*

Alluvions modernes et anciennes du Vernazobre. — Proviennent de la Montagne Noire. On y retrouve les débris de schiste, de grès schisteux, de quartz blanc, du primaire avec quelques calcaires du Devonien. L'ensemble est siliceux, très léger, parfois un peu calcaire, de couleur variable, grisâtre, brunâtre, ou rougeâtre selon la provenance.

Cailloutis pliocène d'origine cévenole. — Ils sont superposés aux cailloutis pliocènes d'origine locale. Les galets sont des quartz blancs, jaunes, roses, quartzites, lydiennes, phanites verdâtres, silex gris ou jaunes, schistes. A Serignan-Sauvian on retrouve les grès schisteux de la Montagne Noire à peine arrondis par le ruissellement malgré la distance (25 km.) et même des micaschistes et pegmatites de l'Espinouze.

Entre les galets existe la terre brun ocre ou brun rouge, souvent de couleur vive, et toujours siliceuse.

On revoit ici les deux mêmes espèces de sols que dans les cailloutis calcaires, mais bien entendu dépourvus de calcaire. Ils sont plus secs encore que les cailloutis calcaires, car leur étant superposés, ils occupent toujours les sommets et d'autre part, ils sont plus perméables. Enfin, ils sont plus pauvres en éléments fertilisants et aptes à produire seulement des vins de qualité.

La couleur rouge s'explique par le fait qu'une bonne partie des produits de désagrégation de la roche schisteuse originelle possède cette couleur, ainsi que l'a fait remarquer GÈZE, qui pense que cette rubéfaction serait due à une sorte de latérisation très ancienne.

Nous avons vu plus haut qu'il existe aussi des sols jaunâtres argileux et pierreux, issus du schiste et qu'ils n'ont pas subi de rubéfaction parce qu'ils se sont formés à une époque beaucoup plus récente, dont le climat n'était pas favorable à la production de ce phénomène.

Végétation et cultures des cailloutis. — Les espaces incultes sont rares, et dus à la difficulté d'accès du terrain. On observe alors une végétation de garrigue. Signalons près de Courpouren un bois d'yeuses touffu, provoquant la formation d'un sol humifère brun noir dû à l'accumulation de la matière organique.

Partout ailleurs, c'est le vignoble donnant de faibles rendements par suite de l'aridité du sol, mais pouvant fournir des vins de qualité (Saint-Georges-d'Orques, Frontignan, Montbazin, Saint-Saturnin, Montpeyroux, Arboras, Serignan, Sauvian, Valras, Cruzy, Quarante).

7° *Sols sur sables.*

Il s'agit principalement des sables du cordon littoral; cette question

a déjà été traitée par BORDAS(7) pour la Camargue, région comparable à la zone littorale de l'Hérault qui en est le prolongement.

8° *Sols sur alluvions modernes.*

Alluvions fluviales, fluvio-marines, ou marines particulièrement développées dans la région littorale et remontant les vallées des divers cours d'eau (Orb, Hérault, Lez, Vidourle et leurs affluents).

Leur nature varie beaucoup selon leur provenance. Nous avons vu plus haut diverses alluvions dans les chapitres des cailloutis et des sols sur Néocomien.

Il en est d'autres qui sont limoneuses, sableuses, donnant des sols gris, légers, parfois dépourvus de calcaire (vallée de l'Orb à Sauvian-Serignan).

Plus haut, vers Roquebrun, les alluvions de l'Orb sont marneuses ou sableuses, parsemées de débris de schiste, quartz, calcaire.

Non loin de là, à Saint Chinian, celles de Vernazobre, sont de même nature avec une coloration brun rosé.

Le Lez et la Mosson déposent des alluvions variées, souvent marno-sableuses, brunes, brun rougeâtre ou brun jaunâtre, en général assez calcaires, mais parfois décalcifiées (on y trouve des fougères à Lavalette).

Tous ces dépôts hétérogènes ne portent pas de sols différenciés. Ce sont en général des lieux fertiles, couverts de vignobles à forte production.

Donnons un exemple des alluvions fluvio-marines pris à Frontignan : ce sont des terrains bas, marécageux, bordant le littoral. On y trouve surtout des marais plus ou moins salés, incultes où poussent les roseaux et diverses plantes halophiles. D'importantes salines jalonnent la côte. Les endroits les moins humides et les moins salés sont en vignobles, sur un sol marno-sableux brun rose à brun grisâtre. La nappe phréatique est très voisine de la surface, et seuls les soins cultureux empêchent l'envahissement par les roseaux qui repoussent un peu partout.

III. — SOLS INTRAZONAUX

On pourrait appeler ainsi les sols dont le caractère principal dépend moins du climat ou de la roche mère que de certains facteurs particuliers tels que la salinité ou l'humidité excessive.

Nous pourrions donc classer ici les sols marécageux, salés et tourbeux. Les deux premiers ont déjà été étudiés par BORDAS (5-7). On les trouve le long du littoral.

Les sols tourbeux existent dans les dépressions du plateau de l'Espinouze. Leur étude n'est pas encore faite.

Bibliographie.

1. V. AGAFONOFF. — Les sols de France au point de vue pédologique. Dunod, Paris, 1936.
2. — Sols types de Tunisie. Imp. Maury. Tunis, 1936.
3. G. AUBERT. — Les sols de la France d'outre-mer. Imp. Nat., Paris, 1941.
4. P. BOISCHOT et G. DROUINEAU. — Présence et constitution de concrétions ferrugineuses dans un sol méditerranéen (*Bull. A. F. E. S.*, déc. 1937).
5. J. BORDAS. — Essai de pédologie méditerranéenne. Imp. Nat. Paris, 1943.
6. — Essai d'agronomie méditerranéenne. Imp. Rullière, Avignon, 1946.
7. — Les vignobles de sables en Camargue (*Ann. Agro.* avr.-juin 1944).
8. J. BRAUN-BLANQUET. — La chênaie d'yeuses méditerranéenne. Imp. Mari-Lavit, Montpellier, 1936.
9. E.-H. DEL VILLAR. — Aperçu sur les sols d'Algérie (*Bull. A. F. E. S.*, mars 1939).
10. DEMOLON-BASTISSE. — Migration du fer dans les sols rouges méditerranéens (*Ann. Agro.*, juill.-sept. 1944).
11. J. FRANC DE FERRIÈRE. — Classification des sols de Charente-Inférieure (*Bull. A. F. E. S.*, juin 1937).
12. B. GÈZE. — Sols karstiques souterrains (*Bull. A. F. E. S.*, mars 1937).
13. LAGATU-SEMICHON. — Matériaux pour une étude des terres du département de l'Hérault (*Progrès agricole et viticole*, 1893).
14. C. MANTELET et E. RADET. — Étude pédologique des sols des plateaux jurassiques dans l'Est de la France (*Bull. A. F. E. S.*, sept. 1937).
15. P. MARCELIN. — Essai de classification des formations rouges du Gard (*Bull. A. F. E. S.*, juin 1936).
16. — Classification des sols rouges méditerranéens (*Bull. A. F. E. S.*, juin 1938).
17. — Sur le problème des terres rouges (*Bull. Soc. Languedoc Géog.*, Montpellier, 1942).
18. G. MONTARLOT. — Étude pédologique de la zone de contact de l'Astien et de l'Aquitainien (*Ann. Éc. Nat. Agric.*, Montpellier. Nouv. série, t. XXVI, fasc. III, juin 1944).
19. — Examen microscopique d'un sol rouge de garrigue (*Ann. Agro.*, 1^{er} trim. 1944).
20. — Observations sur des concrétions calcaires (*Ann. Agro.* 1941-1942, p. 276).
21. — Rapports établis en vue de la délimitation des aires de production des vins de qualité supérieure pour 30 communes de l'Hérault, déposés à la Fédération méridionale des vins de qualité.
22. — Les sols sur le Miocène, le Pliocène et les alluvions récentes près de Saint-Georges-d'Orgues (Hérault) (*Ann. Éc. Agric.*, Montpellier, t. XXVII, fasc. I, II, III, déc. 1946).
23. — Zones diversement colorées dans les calcaires de l'Infra-crétacé (*Ann. Éc. Agric.*, Montpellier, t. XXIII, fasc. III, IV).
24. M. OUDIN. — Cartographie et classification des sols de France (*Bull. A. F. E. S.*, déc. 1936 et déc. 1937).
25. POPOT. — Le rougier de Camarès (*Ann. Géog.* avr.-juin 1946).
26. RADET-MANTELET. — Étude pédologique de la Champagne Crayeuse (*Bull. A. F. E. S.*, déc. 1938).
27. L. YANKOVITCH. — Étude pédo-agrologique de la Tunisie. Imp. Maury. Tunis, 1936.

THE SOIL MAP OF PORTUGAL

By D. Luis BRAMAO.

Head of the Department of Soils, Estação Agronômica Nacional, Sacavem, Portugal.

Historic.

The first Portuguese we have recorded as being interested in soil science was the Botanist José Correia da Serra, born in Serpa in 1751. In the early part of the nineteenth century, while Minister of Portugal to Washington, he was deeply interested in the study of the soil and wrote a remarkable paper on the « OBSERVATIONS AND CONJECTURES ON THE FORMATION AND NATURE OF THE SOIL OF KENTUKY » published in the “ Trans. of the American Phylosophical Society ”, in 1811.

It is worth mentioning his name here because he, certainly, is among the earliest scientists concerned with Soil genesis although his principal activity was, as I said, Botany, on wich matter he published many scientific works.

In the eighties of the last century several soil Maps came out of press covering an important area of the district of Beja, under the direction of Costa Sequeira assisted by Gerardo A. Pery, aiming to help agricultural statistics. Costa Sequeira and Pery may well be considered the first Portugueses really interested in Soil Survey. It is noteworthy to emphasize that the former, in one of his reports, published in 1882, expressed already the hope that the Government would give the country a suitable organization so as to produce the general Soil Map of Portugal.

Although his mape were made according to an “ Agro Geological ” practical concept they still proved to be useful when lately we started surveying the soils of the same regions.

A few years later the invasion of *Phylloxera vastatrix* spreading quickly all over the country and destroying our vines caused an alarming decrease in production of one our most important exports, the Port wine. After many discouraging and unfruitful experiments to check the pest, soil studies were again called to play an important role by helping to introduce the wild American resistant vines, selected in accordance with their suitability to the nature of the soil, which were later grafted with our famous Portuguese varieties. Although very slow and expensive this process was the only possible way to restore our deteriorated vineyards.

As the problem was being solved for the most important wine region, Soil Survey was forgotten until another practical problem called again for its help in the early thirties of this century. The Portuguese Government was interested in promoting the irrigation of large areas, and quickly recognized the importance of using Soil Maps in the study of the plans. Soil Maps were then used for local problems of irrigation and drainage. Soon after, they were also applied, in a large scale, to the study of the possibilities for new settlements. A new era started. Henceforward, the Government became increasingly interested in Soil Survey. Several Soil maps were made by the Junta Autónoma das Obras da Hidraulica Agricola (National Board of Irrigation and Drainage) and by the Junta de Colonização Interna (Board of Home Colonization).

In 1939 the Department of Soils of the *Estação Agronómica Nacional* of Sacavem was commissioned both to study the soils in general and to make Soil Map of Portugal.

Reference will be made later to the kind of Soil Maps we are undertaking. Before that, I shall try to give in a general outline a brief description of the principal factors of soil formation as they appear in Portugal.

Soil forming factors.

RELIEF. — There are actually no very high mountains in Continental Portugal — the highest point being 2.000 meters above sea level. However, the distribution of Mountain chains is very important and responsible to some extent for the different climates found in the country. The part of the country north of Douro river, is very hilly a relief which is more stressed going eastward. Between the rivers Douro and Tagus the most important orographic characteristic is the chain of mountains in a northeast-south-west direction, of which Serra da Estrela is the most prominent and largest in Portugal.

Many of the principal valleys lie in a southwest-northeast direction. If one considers that some of the dominating winds blow in the same direction the great oceanic influence in the Portuguese climate is better understood.

CLIMATE. — The climate is the result of several different factors or influences, the most important of them in Portugal are : 1) The Atlantic influence, which is one of the strongest, followed next by, 2) the Mediterranean, characterized by a dry summer and rainy winter, 3) Continental produced by the Iberian Mesa and, 4) Relief, dependent on altitude, slope direction, exposure, etc...

According to Manique e Albuquerque (1) the main climates of Portugal are as follows :

- a) Atlantic, covering the northwest of the country.
- b) Oro-Atlantic, over the northeast of Portugal.
- c) Mediterranean, on the south and southwest.
- d) Sub-continental, occupying a belt bordering Spain.
- e) Transitional from Atlantic to Mediterranean, central-western part of the country.

VEGETATION. — A large part of the country has been under cultivation for many centuries. Therefore it is difficult to find places where vegetation is still in its natural condition. There are, however, a few localities which, happily, have not been suffering much from human interference and where soil profiles and natural plant associations can still be studied. Plant sociological studies have been started recently. Nothing certain is yet known about what could have been the nature and general distribution of the climax forests. In a general outline, however, the actual panorama of the Portuguese forests is as follows :

a) The northern part with deciduous oaks : (1) The Atlantic region characterized by the presence of *Quercus Robur*, containing many pine woods, *Pinus Pinaster*, which extend mainly along the shores. (2) The forests of the lowlands of the Oro-Atlantic region are similar to those of the Atlantic; pine woods being scarce. In the highlands the *Quercus pyrenaica* is the most frequent tree. Other species like *Betula celtiberica*, *Taxus baccata*, *Juniperus nana* and *Pinus silvestris* are also found from 1,000 meters above sea level.

b) The southern part with evergreen trees : (1) The Mediterranean and Sud-Continental regions are populated by *Quercus Suber* (cork tree) mainly near the coast, *Quercus Ilex* (green oak) further inland and in the southern part, in a rather narrow band parallel to the southern shore, the *Ceratonia Siliqua* (carob tree). There are also many pine woods (*Pinus Pinea*) near the coast, on sandy soils.

c) The Transitional region, from Atlantic to Mediterranean, which covers the central western part of Portugal, may be characterized by special oaks, *Quercus faginea* and related species with "marcescent" leaves, of a transitional character too, between deciduous and evergreen oaks.

GEOLOGY. — Portugal has a very large representation of the most important geological formations. The sedimentary rocks are present with several extensive formations like the Pliocene, Miocene, Jurassic and several shales, slates, etc.

(1) Unpublished data kindly supplied by Manique e Albuquerque, Department of Climatology, Estação Agronomica Nacional, of Sacavem.

The vulcanic rocks are composed mainly by granits, basalts, diorites, etc., etc...

Some of these formations are very important because they cover quite a large area of the country, for exemple, the granites in the north. Some are related to special soils like the diorites, which yield a highly productive black soil. These are found in the southern part of the country near Beja.

The role played by the different lithological materials on the formation of the Great Soil Groups in Portugal is sometimes very important as studied for the Santarem region by Bramão and Nunes (1942).

The Great Soil Groups.

From such a complicated pattern of climates, vegetation and geology, there developed, as we shall see, a rather large variety of soils. Although there is not yet a published map of the Great Soil Groups of Portugal, many of the principal soils have been observed and studied. A brief reference to some of the most important, will be made here.

RED SOILS. — Red Soils have been found in Portugal in zones where climate has been described as Mediterranean, Sub-Continental, and Transitional.

They are widely spread covering a very important surface of the central-western, southwestern and southern Portugal. They occur mainly on hard limestones of the Jurassic formation but they are also found on shales, slakes, soft limestones, basalts and occasionally on granites.

Some of these soils are already mapped in detailed soil survey and, named after : Almoester, Albergaria, Alforagemel, etc.

A description of the profiles of the Almoester and Albergaria series will illustrate the type of red soil here referred.

Profile of Almoester Clay Loam.

- A — 0-25 cms. — Dark reddish brown clay loam porous and firm allowing good root development. Structure composed by angular aggregates of a cubic shape and of 1 to 3 mm. of size. pH 6.5.
- B — 25-50 cms. — Red clay with similar structure very compact. pH about 6.5. This horizon lies over a hard bluish gray limestone, of a spongy nature.

Profile of Albergaria Clay.

- A — 0-20 cms. — Reddish brown clay. The clods are easily broken down into their natural aggregates which are firm, granular and of about 3 mm. in diameter.
- The soil is pervious. pH 7.0.

B — 20-50 cms. — Red clay of heavier texture, more compact than the above. Structural aggregates similar but larger than those described for the A horizon. pH 6.5.

C — 50 cms. — White or yellowish white limestones, friable stratified with hard surfaces separating stratus (caliço). Sometime, a transitional horizon of a reddish colour between B and C is present.

The clay materials of most of the Portuguese red soils are being studied by the clay lab. of the Department of Soils.

From the clay point of view the red soils, up to now, studied in Portugal may be classified into the two following groups : (1) Red soils originated from basalts; (2) Red soils originated from the remaining rocks.

In fact the clays coming from basalts seem to have different constitution than those derived from other geological formations.

BROWN FOREST SOILS. — Cover a large area of the northern part of the country. They are formed under oak forest, both from calcareous and non calcareous parent materials. They may be classified into : (1) The calcareous brown forest soils developed under "marcescent" oak (*Quercus faginea* and related species). (2) The non calcic brown forest soils, developed from shales, granites, etc., under deciduous oaks.

The first are dark brown in the surface horizon, neutral and have no texture profile. The B horizon is a transitional one from A to C, usually soft limestone. Rendzinas are often associated with these soils.

Profile of Secorio Silt Loam.

The profile hereafter described is of a cultivated soil. It is therefore a degraded brown forest soil.

A — 0-45 cms. — Light brown or yellowish chestnut silt loam with granular structure, porous, pervious and firm when dry. Free carbonates, pH 7.5. The soil clods break down easily in structural aggregates.

B — 45-70 cms. — In this layer colour fades to yellowish of pale brown sandy loam with spots of friable calcium carbonate. Structural aggregates larger, 4 to 6 mm. in diameter. Porous and firm when dry. Effervescence with dilute HCl. pH 8.

C — 70 cms. — Gray bluish clay containing large proportion of calcium carbonate. Prismatical structure.

The non calcic brown forest soils of the east central and northeastern part of Portugal may show a slight profile development with incipient formation of a B horizon.

They are characteristically acid throughout to profile. They have been mapped occasionally in detailed soil survey of small areas.

A profile observed in Gerez is as follows :

Profile.

- A₀₀ — Thin layer of leaf litter from deciduous oaks.
- A₀ — Dark brown leaf mull of about 10 cms. thickness.
- A₁ — The upper part of the mineral soil containing large proportion of organic matter. Dark brown loam with crumb structure. 20 cms. in thickness.
- B — Transitional. Brown, coarser, lying over the weathered granites.

An other profile studied in Cruz Alta, on the top of the Bussaco mountain, under well preserved deciduous oak forest, is as follows :

Profile.

- A₀₀ — Well developed horizon of loose leaf litter.
- A₀ — Dark leaf mull of about 5 cms. in thickness.
- A₁ — Dark brown loam, crumb structure, of 20 cms. in thickness.
- B — Transitional brown coarse sandy loam of 15 cms. thickness.
- C — Weathered quartzites.

CHERNOZEM LIKE AND RELATED SOILS. — Chernozem like soils occur in Portugal only in small spots in the central-eastern part of the country, near the Spanish border. There are, however, a few other soils like chestnut and browns of step formation, present in more important areas, in the Alentejo province. The possibility of the existence of these soils have been studied by Bramão (1941).

In some of them there is evident the accumulation of calcium carbonate in the profile. Others exhibit interesting lime concretions.

Profile of the Nora da Uveda Soils.

- A₁ — Dark clay loam, granular structure, thickness varying from 30 to 40 cms. pH 7. No effervescence to dilute HCl.
- A₂ — Dark clay loam, lighter in colour than A₁, granular structure with aggregates larger than those of the A₁ horizon. pH 7, no effervescence to HCl.
- B — Transitional, brown clay loam containing some free carbonates.
- C — Material from weathering vulcanic rocks.

PODZOLS. — Podzols are found in the sandy formations near the shore and under pine forests. They cover quite an important area. They usually have a hardpan more frequently the iron ortstein, although sometimes a humus hardpan is found too.

The following profile was observed on a sandy formation of the miocene near Setubal and is a humus podzol.

Profile of Podzol of Gambia.

- A₀₀ and A₀ — Absent.
- A₁ — Dark sandy soil of 15 cms. thickness.
- A₂ — White sand. The podzol layer of about 10 or 20 cms. thickness.
- B₂ — Humus cemented layer of dark brown or coffee colour.
- C — Light yellow sand.

GRAY BROWN PODZOLIC. — The gray brown podzolic soils cover quite an important area in one of the most productive, industrious and densely populated region of Portugal. They are localized mainly in the northwest. Although highly cultivated it is still possible to find in small edges undisturbed typical profiles developed under deciduous oak forests (*Quercus Robur*).

Profile of a Gray Brown Podzolic Soil near Pedras Rubras.

- A₀₀ — A very thin undecomposed forest litter.
- A₀ — Thin layer of forest mold.
- A₁ — Dark loam very rich in organic matter granular structure, 30 cms. thickness. pH 6.
- A₂ — 10 cms. thickness. Light yellowish brown (shammy colour) loam.
- B — Yellowish brown clay loam with nut structure 30 cms. thickness.
- C — Light yellow coarse material, from weathered granites, containing quartz grains and undecomposed mica.

PEAT SOILS AND MOORLANDS. — These soils occur in the highlands of the Oro-Atlantic region and cover a large surface well suitable for potato growing. They have a mantle of peat which is occasionally very thick on valleys.

The following profile observed near Montalegre illustrates the soil of the moorlands as taken on a gentle slope in good drainage conditions.

Profile.

- 1 — A layer of peat of 15 cms. thickness.
- 2 — Dark near black loam of crum structure, 20 cms. thickness containing large percentage of organic matter.
- 3 — Dark loam nut structure containing much organic matter.
- 4 — Dark brown loam.
- 5 — The weathered slade.

THE DETAILED SOIL MAP

The detailed soil map of Portugal is being made on the scale of 1 : 25.000. It is composed of units equivalent to the American soil series. These units are called soil species. The soil species may be defined as a group of soils having similar genetic horizons and arrangement in the soil profile and developed from the same parent material. Practically no variation of the texture of the surface horizon is allowed more than that which can be considered within normal limits. A soil species includes therefore, only one soil type. It is evident, consequently, that soil species and soil types of the American system of soil classification, are equivalent in this particular aspect.

The next unit of classification is the so-called soil variety which corresponds to a certain extent to the American soil phase. Although

the soil variety has a remarkable agricultural or practical meaning it has also quite an important pedological significance since the soil is a three dimensional body and most of the variation considered in this unit is due to differences in relief.

Soil variety can then be defined as follows : That part of a soil species having minor variations such as relief, thickness, accelerated erosion, etc. Which, besides being of genetical interest, are also of practical importance.

Although soil maps are made mainly because they have a very great practical application, chiefly to agriculture, they should never be the result of practical concepts. Considering the soil as a natural body the pedologist classifying and mapping soils must do so in as scientific a manner as a botanist studying plant taxonomy or a zoologist classifying animals. Otherwise a soil map will probably be useless in a short time. A soil map must be as accurate as possible to serve its purpose. When so and made according to strict scientific principles, it is probably the most important tool in raising the level of agriculture, and, thereby, in raising the standard of living of the agriculturist.

ADVANTAGES OF A SOIL MAP. — A soil map represents alone a large amount of research work. It is both the basis for agricultural and other practical soil investigations and the means by which all the data and knowledge acquired in that research might find an accurate way of being generalized. From a soil map a very large number of others — such as agrological maps — can be obtained without any extra cartographic work.

The main advantages we, in Portugal, are expecting to derive from the soil maps, are :

- 1) Experimental fields. 2) Advisory work to farmers. 3) Introduction of new crops. 4) Equitable land assessment. 5) Erosion and flood control. 6) Aid in farm transaction.

Bibliography.

- BRAMÃO, D. Luis. 1939. Programa de Trabalhos de Departamento de Solos da Estação Agronómica Nacional. *Planos de Trabalho da Estação Agronómica Nacional*. Ministério da Agricultura.
- 1941. A Existência do Chernozem em Portugal. *Agronomia Lusitana*, 2 (3).
- and NUNES, M. 1942. Um Caso de Interzonalidade. *Agronomia Lusitana*, 4 (4).
- FERY, Gerardo Augusto. 1882. *Estatística Agrícola do Distrito de Beja* Ministério das Obras Publicas, Comércio e Industria. Imprensa Nacional, Lisboa.
- SERRA, Jose Francisco Correia da. 1811. Observations and Conjectures on the Formation and Nature of the Soil of Kentucky. *Trans. Amer. Philosophical Society*. 1 : 174.

INFLUENCE EXERCÉE PAR LA VÉGÉTATION FORESTIÈRE ET LES BRUYÈRES SUR LES SOLS DE LA PARTIE MÉRIDIONALE DE LA SUÈDE

Par Olof TAMM.

Professeur de Pédologie forestière
École forestière (Experimentalfältet — Suède).

La plus grande partie de la production de bois de la région forestière du Sud de la Suède (entre les deux latitudes 56 et 59 environ) se fait par le pin sylvestre, l'épicéa et le bouleau. Souvent la production par hectare est assez élevée, presque comme dans l'Europe centrale, malgré le climat rigoureux. La température moyenne de l'année n'est que de 5-7° C, celle de juillet de 15-17°, la durée de la période végétative (selon M. LANGLET), c'est-à-dire la période, dont la température moyenne (d'un jour et d'une nuit) surpasse 6°, comprenant de 160 à 180 jours. Nous devons cette production élevée aux qualités de nos sols forestiers.

La Suède est formée en grande partie par des terrains morainiques d'un âge très jeune. Les moraines y couvrent des roches très anciennes, surtout des gneiss et des granits. La nappe glaciaire a enlevé toute la couverture préglaciaire des roches anciennes. Ce qui restait de celles-ci n'était point altéré, désagréé, décomposé. A la fin de la période glaciaire, le matériel des moraines se forma par désagrégation de ces roches d'une manière purement mécanique. Ainsi, nos moraines consistent en minéraux, qui n'ont subi presque aucune décomposition chimique. Nous savons maintenant, que le Sud de la Suède fut délivré de la nappe glaciaire, il y a 12.000 ou 13.000 ans. Les temps qui suivirent furent suffisants pour le développement de sols bruns ou de podsoles sur les moraines; dans le Sud du pays surtout des sols bruns, dont plusieurs sont plus ou moins podsolisés. Cette podsolisation s'est faite sous des forêts de conifères, qui ont remplacé les forêts primitives de chênes et de hêtres.

Cependant, les temps après l'époque glaciaire n'ont pas été suffisants pour établir un épuisement accusé du sol par la décomposition chimique des minéraux et la lixiviation consécutive des principes solubles, par l'eau météorique. En général, nos sols bruns sur moraines seraient bons pour l'agriculture, s'ils n'étaient pas très pierreux. Celles-ci ont

forcé à peu près 1 million de nos paysans à quitter nos terrains pour émigrer aux États-Unis pendant le ^{xix}^e siècle. Presque tous les sols pauvres en pierres du Sud de la Suède sont utilisés par l'agriculture, excepté plusieurs sols sur graviers, sur sables, sur tourbières.

Au point de vue forestier nous jugeons la qualité d'une moraine par l'analyse mécanique et par une sorte d'analyse minéralogique. L'une, nous donne le taux de terre fine (grains $< 0,06$ mm) et le taux d'argile. L'autre la détermination du *basmineralindex*, c'est-à-dire le pourcentage des minéraux, dont la densité dépasse 2,680 et qui se trouve dans le sable de la moraine. Ces minéraux sont les labradorites, les micas, les amphiboles, les pyroxènes, les apatites et quelques autres. Ainsi, le *basminéralindex* nous renseigne sur les taux de chaux et d'acide phosphorique, cependant sans donner des chiffres précis. Le taux de potasse est presque toujours très élevé. Quant aux oligo-éléments, on fait maintenant des recherches sur leur taux dans nos roches et par conséquent dans nos moraines à l'Institut Géologique de Suède. En même temps, on fait des recherches sur leur importance pour nos arbres à l'Institut de Recherches Forestières de Suède.

La production forestière varie selon le degré de podsolisation des sols bruns, si l'humidité du sol et la qualité minéralogique des moraines sont les mêmes. Il y a de nombreux sols bruns, qui sont très faiblement podsolisés. Cela dépend de la période très courte de la couverture des terrains de forêts résineuses (ou dans l'Ouest, des bruyères). En effet, celles-ci et celles-là n'ont occupé le terrain que pendant une période très brève, souvent 100-200 ans seulement.

Avant il y existait une forme d'agriculture très extensive et singulière, malgré les pierres nombreuses des sols. Dans les forêts caduques les paysans faisaient plusieurs clairières, où l'herbe paraissait bientôt. On en faisait du foin d'hiver pour les animaux. En automne, le sol était amélioré par les feuilles, tombées des arbres et répandues par terre par le vent. Ainsi les paysans atteignaient leur but : avoir une production perpétuelle de foin sur le sol pierreux, sans fumier, sans labour, et sans épierrement. Cela demandait beaucoup de travail, mais peu d'argent, et était bien adapté aux conditions économiques des temps anciens. C'est pour nous une chose importante car ainsi le sol brun restait en état excellent. Maintenant on plante l'épicéa et d'autres arbres sur ces sols et on obtient une production très élevée.

La production de foin dans des clairières, faites dans les forêts caduques, ne réussissait pas dans la région de l'ouest, où la pluie est abondante. Ici le sol subit une lixiviation intensive. Dans les clairières, établies par les paysans, l'herbe fut bientôt remplacée par *Calluna vulgaris*, qui envahit le sol. Alors, les paysans abattirent plus d'arbres restants et obtinrent, par cette mesure, encore un peu de foin. Mais la bruyère

envahit bientôt tout le terrain et finit par le couvrir entièrement, après l'abatage des derniers arbres. C'est là l'origine de nos bruyères. De plus, elles sont conservées par brûlage du terrain, fait par les paysans tous les dix ans. Voilà pourquoi aucun arbre ne pouvait pousser sur le sol ! Cependant, on obtenait un pâturage pauvre, qui se renouvelait par le brûlage.

Les recherches historiques par M. MALMSTRÖM ont démontré qu'il y a des bruyères qui se sont formées de la manière ci-dessus jusqu'à environ 1850. Le degré de podsolisation du sol brun d'une lande-bruyère nous indique son âge relatif. Dans les bruyères toutes jeunes, le sol brun reste encore en bon état ; par conséquent le hêtre s'ensemence souvent (par l'aide des oiseaux) et ne pousse pas mal. Dans les bruyères plus âgées, la podsolisation est plus avancée et il s'est formé une couche d'humus brut « mor ». Cependant, la podsolisation n'est point aussi avancée que dans plusieurs bruyères avec de l'aliôs du Danemark, si bien connues par les études célèbres de M. P. E. MULLER. Ces bruyères danoises sont beaucoup plus âgées que les nôtres. L'aliôs manque presque toujours dans les sols de bruyère de Suède. Ceux du Danemark et de l'Allemagne sont formés sur des sables siliceux, dont le *basminéralindex* est très petit et dont le taux en principes nutritifs est très faible. Voilà la différence la plus importante entre les bruyères danoises et les bruyères suédoises, qui sont formées sur des sols bruns, faiblement podsolisés, développés sur des moraines, très riches en minéraux de grande valeur. Aussi, sur nos landes de bruyères, le reboisement ne trouve aucune difficulté, il ne se fait que par plantation. L'épicéa y pousse très vite.

En général, dans le Sud de la Suède, les sols bruns, avec une podsolisation plus avancée, ont été couverts de pin sylvestre et d'épicéa, souvent mélangés, pendant une période assez longue. Sur ces terrains, il se fait une production moins élevée, comparée avec les terrains de sol brun non podsolisé. Grâce aux qualités minéralogiques des moraines, elle n'est pourtant point mauvaise. Des coupes blanches, suivies d'un envahissement du sol par le bouleau, peuvent établir un bon état du sol en formant un humus doux, et, peu à peu, une régénération du sol brun, si on ne plante pas de conifères.

Il y a aussi, dans le Sud de la Suède, quelques terrains de moraines sablonneuses et siliceuses (le *basminéralindex* est minime) et aussi de sables siliceux. Le sol brun ne s'est jamais formé sur eux. Au contraire, les podsols sont bien développés. La production forestière, peu considérable, se fait ici presque entièrement par le pin sylvestre. Heureusement, ces terrains-ci ne sont pas nombreux.

Suivant les faits ci-dessus, le Sud de la Suède a des conditions excellentes pour la production forestière. Cependant, la restauration des forêts n'est pas encore accomplie après la fin de cette époque, où les

paysans utilisaient les sols forestiers pour avoir du foin ou du pâturage. Voilà pourquoi la production forestière n'atteint pas actuellement son volume possible.

La Suède centrale et la Suède septentrionale sont des régions de podsol typique. La seconde est couverte de forêts qui sont fort exploitées maintenant et qui ne poussent point vite, parce que le climat est très rigoureux. Ainsi, la production forestière, qui est une des activités les plus importantes du pays, se réduit peu à peu dans le Nord, mais s'accroît vers le Sud. A cause de cela, dans la partie méridionale de la Suède les recherches pédologiques auront une importance grandissante en donnant des directives pour maintenir les sols forestiers en bon état.

Purpose

Studies of soils in the field supplemented with laboratory examination are made throughout the United States and Territories with three primary objectives in view: (1) Soil types are defined in terms of all significant internal and surface characteristics and grouped into a uniform system of classification with uniform nomenclature; (2) the distribution of the soil types is shown on maps of each State and Territory; and (3) each soil type is defined according to its adaptability to crops, grasses, and trees, management requirements for sustained production, and expected yields of individual crops under defined systems of use and management.

The results are designed to provide an accurate basis for: (1) Prompt application of field methods and new discoveries in soil and crop management by farmers and other land users, and by agricultural advisers and technicians; (2) Planning agricultural research and estimating the results in terms of crops and soil, where they apply; (3) Final land classification, land zoning, and public land ownership; and (4) and questions for the necessity of land laws, and other soil laws.

THE DETAILED SOIL SURVEY IN THE UNITED STATES

By Charles-E. KELLOGG.

Chief, Division of Soil Survey, United States Department of Agriculture.

Detailed soil surveying was begun in the United States 49 years ago. Since that time our very concepts of soil and the techniques of investigation, classification, mapping, and interpretation have changed completely. Indeed, nearly the whole body of knowledge that we have come to know as modern soil science was developed during this period. Yet the practical objectives of the Soil Survey in the United States have remained nearly the same, during its history; but now the soil classification and soil maps are much more precise than formerly and have much greater prediction value.

Purposes.

Studies of soils in the field, supplemented with laboratory examinations, are made throughout the United States and Territories with three primary objectives in view : (1) Soil types are defined in terms of all significant internal and surface characteristics, and grouped into a uniform system of classification with uniform nomenclature; (2) the distribution of the soil types is shown on maps of such detail and accuracy that the production potential of each field and farm may be predicted; and (3) each soil type is defined according to adaptability to crops, grasses, and trees, management requirements for sustained production, and expected yields of individual crops under defined systems of use and management.

The results are designed to provide an accurate basis for :

(1) Prompt application of tried methods and new discoveries in soil and crop management by farmers and other land users, and by agricultural advisors and technicians;

(2) Planning agricultural research and extending the results to the kinds of farms and soils where they apply;

(3) Rural land classification, rural zoning, and public land management;

(4) Land appraisal for tax assessments, farm loans, and farm purchase;

(5) Assisting prospective farmers, new settlers, and colonizing groups in the proper selection of land;

(6) Planning engineering works like highways and airport, as well as those for flood control, drainage, irrigation, and conservation (erosion and run-off control);

(7) Determining the potential distribution and adaptability of individual crops, crop rotations, and soil management practices; and.

(8) Correlation of soil conditions in the United States with those of other countries so that applicable experience in other lands may be available to American farmers and agricultural scientists.

Development of classification.

When the Soil Survey began in the United States about 50 years ago, there was no clearly recognized body of knowledge that we have come to know as soil science. Early workers had been trained in other fields: they had a more or less unrelated bundle of principles from chemistry, physics, botany, and geology, which they began to apply to soil problems. Their interest was stimulated by the practical problems they saw around them on farms and the conviction that modern science could contribute greatly to their solution.

In the beginning, soils in the field were conceived of as weathering products of recognized geological formations, defined by land form and lithological composition. The early workers in the Soil Survey were geologists because geology was the only science with methods and techniques appropriate to field study, and geologists were trained in the scientific methods of correlation.

As the work progressed, it became obvious that many important soil characteristics were not definitely related to land form or rock type. Obviously, poorly drained soils have different characteristics than well drained soils. And steep soils are unlike level ones. But also on similar glacial till from Maine to Montana, and down to the Ohio River, are entirely unlike soils in the several climatic and ecological zones.

But for a long time the geological view predominated in the field and the old balance sheet theory of plant nutrition, inherited from Liebig and his followers, in the laboratory. Although taught in the classrooms until the early twenties, neither theory actually worked in the field as a basis for reliable predictions to farmers. As a consequence, all sorts of little theories were developed-theories which broke down in contradiction. A new concept was needed.

Meanwhile the work of the Russian school of soil science became available, and by the end of the first World War the concept of soils

as independent natural bodies was accepted by the leaders in the Soil Survey (1). The study of the soil itself received great emphasis, and by 1925 a large amount of morphological and chemical work was being done on soil profiles throughout the country. As first developed, however, the new concept of genetic soil profiles dealt with soils as points. This weakness became evident in the United States because of the great emphasis upon detailed soil maps for their practical prediction value. In making a detailed soil survey *every* part of the land must be described, classified, and named—the unusual and transitional as well as the “typical” soils.

Around 1930 the concept of soil was broadened from the earlier and simpler profile concept to the more useful one of soil as a three-dimensional landscape, with a surface area bounded by lines at which there is a change in their characteristics resulting from changes in one or more of the five genetic factors, and with a depth extending down as far as the living organisms. These landscapes are identified by a defined range in soil profiles—profiles that reflect the synthetic influence of all factors of the environment. Under this concept, fundamental soil research was again accelerated and the possibilities of practical application enormously increased.

Thus from a very small beginning, scientists first learned how to study soils. They learned what characteristics are relevant and how individual soil characteristics and soils as landscapes are related to the genetic factors of the environment.

Detail and accuracy of mapping.

The early units of classification were loosely defined. As we understand soils today these units included a wide range of significant characteristics—characteristics that we have since learned to interpret in terms of land use and management. Thus the early mapping units were broad and few attempts were made to establish the precise boundaries between soil type with great accuracy. In fact, it would have been impossible in the early years of the work until the soil types themselves had been defined precisely.

Further, as agriculture has become more and more scientific and less and less traditional, the demand for accurate maps has increased. As agricultural research goes forward, we understand better the significance of differences in soils, and we can make more precise differential recommendations to farmers. Since many of the new practices require expensive machinery, chemicals, and so on, it is becoming increasingly

(1) Although the concepts introduced by the Russian school had a profound influence in the United States, they were by no means accepted in all detail.

important that recommendations be given in accordance with local differences in soil if waste is to be avoided and the highest possible efficiency achieved.

Thus as the potentialities of soil science increased, the demand for accuracy in classification and mapping increased. Taken together, these factors have resulted in greatly increased accuracy and detail in soil surveying in the United States. Whereas the early surveys were made in the field rapidly on a scale of about 1 : 63,360 and published on the same scale, modern detailed soil surveys are now being made in the field on high quality aerial photographs at scales of about 1 : 20,000 or 1 : 10,000 and published on scales varying from about 1 : 48,000 to 1 : 24,000, depending upon the complexity of the soil pattern. For difficult problems in planning irrigation projects and similar undertakings some soil surveying is being done in the United States on scales even larger than 1 : 10,000.

The change from the ground methods of soil mapping to the use of aerial photographs developed gradually during the twenties. The cost of compiling maps on aerial photographs is, of course, greater than the cost of compiling maps made by ground methods. To do a satisfactory job highly trained photogrammetric engineers must be employed in order to adjust the work to a satisfactory base. But the final maps are ever so much more accurate, if properly assembled, because the soil scientist in the field can locate his soil boundaries precisely in relation to the local features in the landscape, and because the base maps can be very carefully controlled. It was found through hard experience that there is no "easy" way to compile a proper map from aerial photographs. Unless qualified photogrammetric engineers can be had to supervise the compilation work, the product is bound to be unsatisfactory.

Because of the much greater detail and accuracy with which soil boundaries may be plotted in the field, essentially all soil surveying in the United States has been done on aerial photographs during recent years.

Progress in interpretation.

During the two decades or more of its history, soil scientists in the Soil Survey took the position that it was their function to get the facts about soils, classify them, and map them in ways that would furnish a sound basis for interpretation by other people. Dominated by this attitude, soil scientists carrying on the field investigations and mapping described the soils as shown on the maps and included a series of statements about their use, based partly upon the results of research, but mostly upon observations made during the course of the survey itself.

Individual scientists varied a great deal in their ability to capture the essential facts, but commonly the soil survey reports that accompanied the soil maps were qualitative and general.

It was not until the Soil Survey was in its third decade that soil scientists themselves were required to develop definite schemes of land classification and interpretation, to any great extent. Then they realized more fully how qualitative their descriptions had been. Other workers, not having the background of experience and knowledge possessed by soil scientists, had usually failed in their attempts to interpret the work of the soil survey. Thus during the past 20 years scientists in the Soil Survey have seen the necessity of assuming more and more responsibility for the interpretation of the soil survey and related soil research. As the other phases of agricultural science become even more specialized this obligation of soil scientists will increase rather than diminish. Most plant scientists, for example, are concerned with individual crops like wheat, rubber, sugarcane, cotton, tobacco, apples, and what not. Soil scientists must be concerned with all of the adapted crops in relation to each individual soil type. As an inevitable result, a large portion of the time of scientists engaged in soil surveying is necessarily devoted to the analysis of experimental data and of farm experience, as related to individual soil types defined in the classification and shown on soil maps.

The greatest step forward, on the practical side, in the interpretation of soil maps in the United States, has been the development of definite productivity ratings. These ratings express the predicted yields of adapted crops under alternative, physically defined systems of soil and crop management for each soil type. Their development depended upon the concept of soil as landscape.

Through this device all of the available information about a soil is synthesized into a few definite, easily comprehended figures.

The publication of these estimates and ratings of expected yields met with great approval on the part of soil survey users. But the attempt to develop them disclosed immediately the enormous gaps in our information. Only part of the data from experimental plots could be used because many of them were not located on fair examples of significant soil types. Most yield records in farm account books were not even related to specific fields, let alone to specific soil types.

But gratifying progress has been made in the last 15 years. Experimenters generally appreciate the great importance of locating experimental plots and fields on fair examples of soil types worth sampling. Many of the State agricultural experiment stations now have established research projects for determining precisely the response of defined soil types to specific management practices.

In the years immediately ahead increased emphasis will be given necessarily to the correlation of research dealing with the units of soil classification and their interpretation in terms of specific management responses. More attention will be given to laboratory studies of soil samples collected in advance of a soil mapping project. Combined morphological, laboratory, and root studies of the important soils and plants must be undertaken.

But the greater need is not so much for entirely new research as it is for improved organization, synthesis, and interpretation of researches already under way or authorized, in order that the results may be specifically related to the individual units of soil classification.

Interaction of classification, mapping, and interpretation.

Definite interpretations of soil units have required that the lower taxonomic units in the system of classification be precisely and narrowly defined. Over the years, this has resulted in a large increase in the number of individual soil types and phases in the classification and on the soil maps.

Taxonomic units. — In the American system of soil classification and nomenclature the *soil series* is the lowest category defined on the basis of *all* relevant soil characteristics. That is, all soils having the same kind of profiles are included within a soil series, although within a series there may be soils having agriculturally significant variations in surface texture, stoniness, or slope, that are shown as subdivisions of the series. Series are given proper names — geographical place names — in the same way as geological formations are. Proper names like Miami, Barnes, Hagerstown, Mohave, and Cecil connote whole sets of profile and surface characteristics that distinguish a soil as being of a certain kind. As the soil classification work has progressed, and as more and more precise information has become available, the range in characteristics permitted within any soil series has become narrower.

In other words, soils now grouped into four or five separate soil series were, several years ago, included within one soil series.

Within soil series there are, however, two lower categories of classification — *soil type* and *soil phase*. These are differentiated from one another within a soil series on the basis of a limited number of characteristics within the range permitted for the soil series. Types within a series are established on the basis of the texture (soil class) of the A horizon, or of the normal depth of plowed soil where the A horizon is less than that.

When the Soil Survey began it was conceived that the soils within a soil series might have a wide range of texture. At that early time

soil series were conceived of mainly in geological terms. Ideally weathering granite, for example, could be laid out in a series of alluvial deposits varying in texture from gravel to fine clay. This geological concept is no longer held as valid, and most soil series include soils of only a narrow range in texture. Many soil series contain only one type or two types, like loam and silt loam, or clay loam and silty clay loam.

In the American nomenclature the soil type gets its name from the series name plus the classname of the surface texture, like Miami silt loam and Barnes loam. Of course, two soil types in different series vary from one another in a great many characteristics besides surface texture.

The *soil phase* has been recognized increasingly in the American system as soil mapping has become more detailed. It is used to distinguish soils that are essentially alike in profile characteristics and in their dynamics in the natural landscape under the native vegetation, but which have differences of importance to their functioning when placed under use. Differences in slope or stoniness, for example, which are not associated with consistent differences in the soil profile or in soil dynamics in the natural landscape, may be very important to the use of agricultural machinery, rate of run-off and erosion when cultivated, and similar pragmatic considerations. Thus included in Miami silt loam are undulating and rolling phases, stone and stone-free phases, and uneroded and eroded phases.

In former years the term "phase" in the American system was also used to indicate departures from the normal or typical soil type. Thus on the older maps there were shown "hardpan phases" of soils not normally having hardpans. In recent years the classification is being revised to eliminate such anomalies.

Data from plot experiments and observations on land-use experience must be synthesized on the basis of the phases of soil types within the series. Laboratory data are obtained on the genetic horizons of the individual soil types. Some recommendations for crop adaptability and soil management practices may be given by soil series. Most of them are given in terms of soil types. A good many, especially those having to do with tillage and run-off control, must be given by phases within types. Yield estimates and productivity ratings, since they comprehend all relevant data regarding use and management, must be given by soil phases. That is, one gives a farmer a somewhat different recommendation for Memphis silt loam, undulating phase, than for Memphis silt loam, rolling phase.

Mapping units. — Regardless of the mapping scale, one always finds complicated landscapes where the individual taxonomic units

cannot be shown separately. The greater the detail of mapping, of course, the more nearly one can come to showing each taxonomic unit separately on the map. But in very complex landscapes the scale of mapping needs to be unreasonably great in order to indicate each soil type and phase separately. In small scale mapping it is rarely possible to show the individual taxonomic units, however contrasting, separately on the map.

Thus in the American system unlike soils, intimately intermingled geographically, are necessarily placed together into a single mapping unit. These geographic groups of unlike soils are called *soil associations*. Each soil association is defined on the basis of the percentage and pattern of the named taxonomic units within it. For generalized or schematic maps the soil association is the mapping unit. On detailed soil maps the individual taxonomic units are shown separately where possible with a practical scale of mapping. Where this is not practical, the soil association is mapped as a unit and called in the mapping legend of detailed surveys a *soil complex*. A common complex, but by no means the only one, is the *catena*. A catena, in the American system, is a special kind of a soil association — one in which there are two or more soil types with contrasting characteristics due to differences in relief, although developed from the same geological materials. Often the individual soil types of a catena can be mapped separately in detailed mapping, and occasionally they cannot.

Complexes and associations are usually given names to indicate the dominant end members of the taxonomic units which compose them. Thus one might have a Fargo-Beardon association that includes all the types and phases within the allowable limits of those two series. Or one might have Miami silt loam, undulating and rolling phases (1) as a complex of two phases within the allowable variation of the Miami silt loam type.

In early soil surveying complex areas were shown on the maps in accordance with the dominant taxonomic unit, usually the soil type. This resulted in confusion where areas actually contained several taxonomic units. Thus as the classification has been refined it has been necessary to recognize soil associations of taxonomic units in order to show the real conditions clearly.

In developing recommendations in connection with detailed soil surveys complexes, where they are mapped, are the units to which yield estimates and soil management practices are related because where such areas are used all the taxonomic units are included within

(1) In actual practice the name does not always include the word "phase". On many maps the actual range of slope is given in percentage instead of the words "rolling", "undulating", and so on.

a field as cultivated by the farmer. Of course, data from the laboratory and experimental plots are synthesized by the individual taxonomic units.

Objective definition. — In the American system the classificational units shown on the detailed soil maps are defined objectively and are given names that do not, in themselves, connote genesis. This is regarded as important. Theories of soil genesis are still far from complete; in fact, they are continually changing. Since the classification is based upon definite soil characteristics it is not made obsolete by changes in genetic theories, nor is the classification prejudiced by such theories. It is regarded as essential that the classification be based upon characteristics of the soils, and not upon causes of the characteristics.

Present status and programs.

Roughly, one-half of the arable land in the United States has been covered by detailed soil surveys. Many of the older maps are lacking in detail and accuracy as compared to the more recent ones. Schematic or reconnaissance soil surveys have been made of a large part of the country not covered by detailed surveys. There is no part of the United States for which we do not have some important information. Detailed soil surveys are needed for somewhat less than one-third of the country, say about 900,000 square miles. Better reconnaissance surveys are needed for around 500,000 square miles, and surveys that are partly detailed and partly reconnaissance for about 600,000 square miles. Reasonably adequate surveys are available for nearly 1,000,000 square miles, not including published surveys of Puerto Rico and one in preparation for Hawaii.

During the last 15 years the public use of soil surveys has increased enormously and determined efforts to complete the work are expected.

Essentially all of the soil survey work in the United States is carried on cooperatively between the U. S. Department of Agriculture and the soils research units in the State agricultural experiment stations. During recent years the State agricultural experiment stations have increased their contributions to the work in conformity with their increased use of it.

This kind of cooperation is essential for a good program with satisfactory results. Scientists in the U. S. Department of Agriculture are especially concerned with the broad problems of classification throughout the country as a whole. Scientists in the State agricultural experiment stations are especially concerned with the local adaptation of the work to meet local needs, and with the coordination of the other research at the experiment station with that of the Soil Survey. Both types of

interest and both kinds of skill are essential. Thus nearly every State has its soil survey program, and taken together, we have a well coordinated national program. For success, cooperation is necessary between scientists in the United States Department of Agriculture and scientists in the experimental stations, and also between the scientists engaged in soil survey work and those engaged in other agricultural research.

These developments have greatly increased the problem of training adequate scientists for soil survey work. First of all, they must be good general soil scientists, with extensive training in geology, chemistry, plant nutrition, and the other fundamental sciences as well as in soil science. But in addition to being good scientists they must be something more: they must have a balanced appreciation of science and of agricultural practice. Unless the work is sound scientifically it will not achieve its purpose. At the same time, the results must be interpreted in terms of practical agriculture in its broadest sense. The problem of recruiting young men with the necessary qualifications in science for this work, who are good cooperators and who have a keen sense of their practical obligations, is not an easy one.

References.

- ABLEITER, J.-Kenneth. 1940. Productivity ratings of soil types *Mo. Agr. Expt. Sta. Bull.* 421. 13-24.
- BARNES, C.-P. 1946. Soil productivity ratings and their use. *Div. of Soil Survey, U. S. Dept. Agr. Memo.*, No. 1 (Mimeographed).
- KELLOGG, Charles-E. 1937. Soil Survey Manual. *U. S. Dept. Agr. Misc. Pub.* 274, 136 pp. illus.
- 1938. Recent trends in soil classification. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 253-259.
- 1939. Soil classification and cartography in relationship to other soil research. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 339-342.
- 1940. Contributions of soil science and agronomy to rural land classification. *Journ. Farm. Economics* XXII. 729-739.
- United States Department of Agriculture.
- 1938. *Soils and men. Yearbook of Agriculture.* 1232 pp. illus. Washington, D. C.
- 1899-present. *Soil surveys.* *U. S. Dept. Agr.*

SOIL CONSERVATION AND HUMAN ECOLOGY

By G. V. JACKS.

(Commonwealth Bureau of Soil Science Harpenden.)

I wish to make the suggestion that the study of different types of human society in relation to their effects on the fertility level of the soil deserves the serious attention of soil conservationists. Some studies have been made of the ways in which different types of plant association protect the soils on which they occur—for example, it is evident that a forest is constructed to give adequate protection against erosion to soil in generally humid and mountainous regions, and grassland to protect soil in more arid regions. It has been found that forest does not always give perfect protection to the soil when it is planted in non-forest areas, nor does grassland when planted in forest areas. Soil conservation in the absence of man is essentially a matter of plant ecology. In the presence of man it becomes a problem of human ecology — a problem of establishing conditions under which a stable society can exist in which human beings are the dominants, and the lesser fauna and flora comprise chiefly domesticated animals and cultivated plants.

It is obvious that where the environment is deteriorating under human occupation, i. e., where soil fertility is running down, there can be no stable equilibrium, and a continuation of deterioration must result, if not in man's complete elimination, at least in rendering his existence increasingly precarious.

The history of human settlement shows that in the early stages the soil is invariably exploited to the full, regardless of any future consequences, and that sometimes prolonged and excessive exploitation has reduced soil fertility to a level at which organized society could no longer exist. At other times human society has evolved by adapting itself successfully to its environment, and a soil-conserving phase has followed the soil-exploiting phase.

In Western Europe, for example, soil fertility declined under the economy of the feudal age, but attained undreamed-of heights under the economy of the following capitalistic age. In Western Europe soil exploitation was associated with common land tenure, and soil conservation with individual land tenure. Moreover, one of the most fertility-conserving systems of agriculture ever devised was operated in England during the nineteenth century under a system of land tenure in which the farmer was not a landowner, but a tenant.

In the United States a system of individual land ownership has been

associated during the last hundred years or so not with an increase, but with a rapid decrease in the fertility and stability of the soil. Contrary to what happened in England, tenant farming in the United States has not been found to be conducive to soil conservation, owing to differences in both the economic and physical environments. The recent success of the soil-conservation districts in reversing the trend from the exploitation to the conservation of the soil suggests that a modified system of land tenure in which communal responsibility for the welfare of the land is recognized may be emerging.

In Russia a system of common land tenure is being tried, though not specifically with the object of conserving the soil from erosion.

Developments in these and other countries deserve the most careful and objective study by both sociologists and pedologists. The great difficulty in all such studies will be to obtain objectivity. Nothing that a sociologist or pedologist discovers is likely to influence the social evolution of the U. S. A. or U. S. S. R., but in the case of more primitive societies, and especially those in which the natural equilibrium between society and the soil has been disturbed by the impact of European civilization, a scientific assessment of the type of society that can attain equilibrium with the soil might enable us to direct social evolution in the desired direction. We know that in certain regions it is impossible to grow a forest, for example, however desirable forest may be, because of soil and climatic limitations. It should be possible for us to determine, analogously, that such and such a type of society can maintain the fertility and stability of the soil under certain climatic conditions, and other types cannot.

Problems of regional soil conservation are often recognized as being problems of social adjustment to a particular type of environment. The sociological aspects of the problem have been most fully studied in relation to an arid environment — the environment in which mankind first practised settled agriculture with the aid of irrigation — and several recent studies, particularly in Australia, have also been made of the sociological aspects of conservation in semi-arid environments. These studies, however, have not been undertaken from the pedological standpoint; they do not include the study of the influence of different economic systems and different systems of land tenure on the evolution of the soil. Native agricultural systems have frequently maintained an equilibrium with the soil that has been unattainable under conditions modified by contact with Europeans. The physical mechanism of this equilibrium deserves as careful study as has been given to the mechanics of terrace construction. There is here a very wide and unworked field awaiting the attention of pedologists.

INFLUENCE DE L'HUMUS SUR L'ASSIMILABILITÉ DES ENGRAIS PHOSPHATÉS DANS UN SOL LATÉRITIQUE

Par Raymond CHAMINADE

Directeur de la Station de Recherches de l'École Nationale d'Horticulture, Versailles.

Au cours de recherches précédentes (1, 2) nous avons montré que l'humate calcique était susceptible de contracter avec l'acide phosphorique des combinaisons d'adsorption dans lesquelles l'acide phosphorique était assimilable par les végétaux et n'évoluait que lentement vers des formes inassimilables.

La présence dans les latérites d'hydroxydes de fer et d'alumine libres provoque une insolubilisation extrêmement rapide de l'acide phosphorique par passage de cet élément à l'état de phosphate de fer et d'alumine; c'est un fait bien connu que les sols latéritiques, bien que très carencés en acide phosphorique, ne réagissent que très rarement aux apports d'engrais phosphatés.

Dans le présent travail, nous avons examiné le rôle de l'humus sur le maintien de l'assimilabilité de l'acide phosphorique dans un sol latéritique.

MATÉRIEL EXPÉRIMENTAL :

1° *Le sol.* — Le sol sur lequel a porté les essais est un sol latéritique prélevé à Madagascar près Tananarive.

Sa composition est la suivante (p. mille de sol).

Ca échangeable	0,000
K échangeable (K_2O)	0,320
Mg échangeable (MgO).	0,034
Acide phosphorique assimilable (attaque citr.).	0,019
» total.	1,040
Fer libre (Fe_2O_3) attaque oxalique.	45,000
Fer total.	132,200
Alumine libre (attaque sodique).	81,000
Alumine totale (fusion alcaline).	584,000
pH (électrode de verre)	5,80

2° *L'humus.* — L'humus a été extrait d'un sol humifère par traitement à l'oxalate d'ammonium à 3 p. cent, puis précipité par HCl , lavé,

(1) *Annales agronomiques*, 1944. n° 1, p. 1.

(2) *Annales agronomiques*, 1946. n° 3, p. 229.

précipité à l'état d'humate calcique par un excès d'eau de chaux, lavé à l'eau jusqu'à obtention d'une suspension stable.

Les échantillons de sol latéritique ont été enrichis en humus par addition d'humate calcique. Les doses d'humus apportées ont été de 0,2 et 0,5 p. cent exprimées en acide humique. En outre, un échantillon témoin ne comportait aucun enrichissement en humus.

TECHNIQUE :

L'acide phosphorique a été ajouté au sol sous forme de superphosphate, phosphate bicalcique et phosphate naturel broyé.

Deux doses ont été employées correspondant à 20 et 50 mgr. P_2O_5 pour 100 gr. de sol. La dose de 20 mgr. équivaut à une fumure phosphatée de l'ordre de 600 kg P_2O_5 à l'hectare soit plus de 4.000 kg de superphosphate. L'assimilabilité de l'acide phosphorique a été suivie par des essais de NEUBAUER.

100 gr. de chacun des échantillons, placés dans des cristallisoirs ont été ensemencés avec 100 graines de seigle. Trois séries d'essais ont été réalisés.

Dans la première série le semis a été effectué immédiatement après addition d'acide phosphorique. Dans la seconde et la troisième respectivement une et deux semaines plus tard.

Plantes et racines ont été récoltées au bout de dix-huit jours suivant la technique habituelle et l'acide phosphorique a été dosé.

Les graphiques ci-joint résument les résultats obtenus. Sur ces graphiques on a porté en abscisses les quantités d'acide phosphorique ajoutées et en ordonnées les exportations par le seigle.

L'examen de ces graphiques permet les conclusions suivantes :

1^o Dose de 20 mgr. de P_2O_5 :

En aucun cas l'addition au sol de 20 mgr. de P_2O_5 n'a provoqué, en l'absence d'humus, d'augmentation sensible de la quantité d'acide phosphorique exportée par la plante. Quelle que soit la forme sous laquelle l'acide phosphorique a été ajouté, la totalité de cet élément a été insolubilisée par le sol.

Par contre, en présence de 0,2 p. cent d'humus, l'alimentation phosphatée des végétaux a toujours été améliorée.

Pour le superphosphate la dose de 0,5 p. cent d'humus a donné des résultats légèrement meilleurs que la dose de 0,2 p. cent.

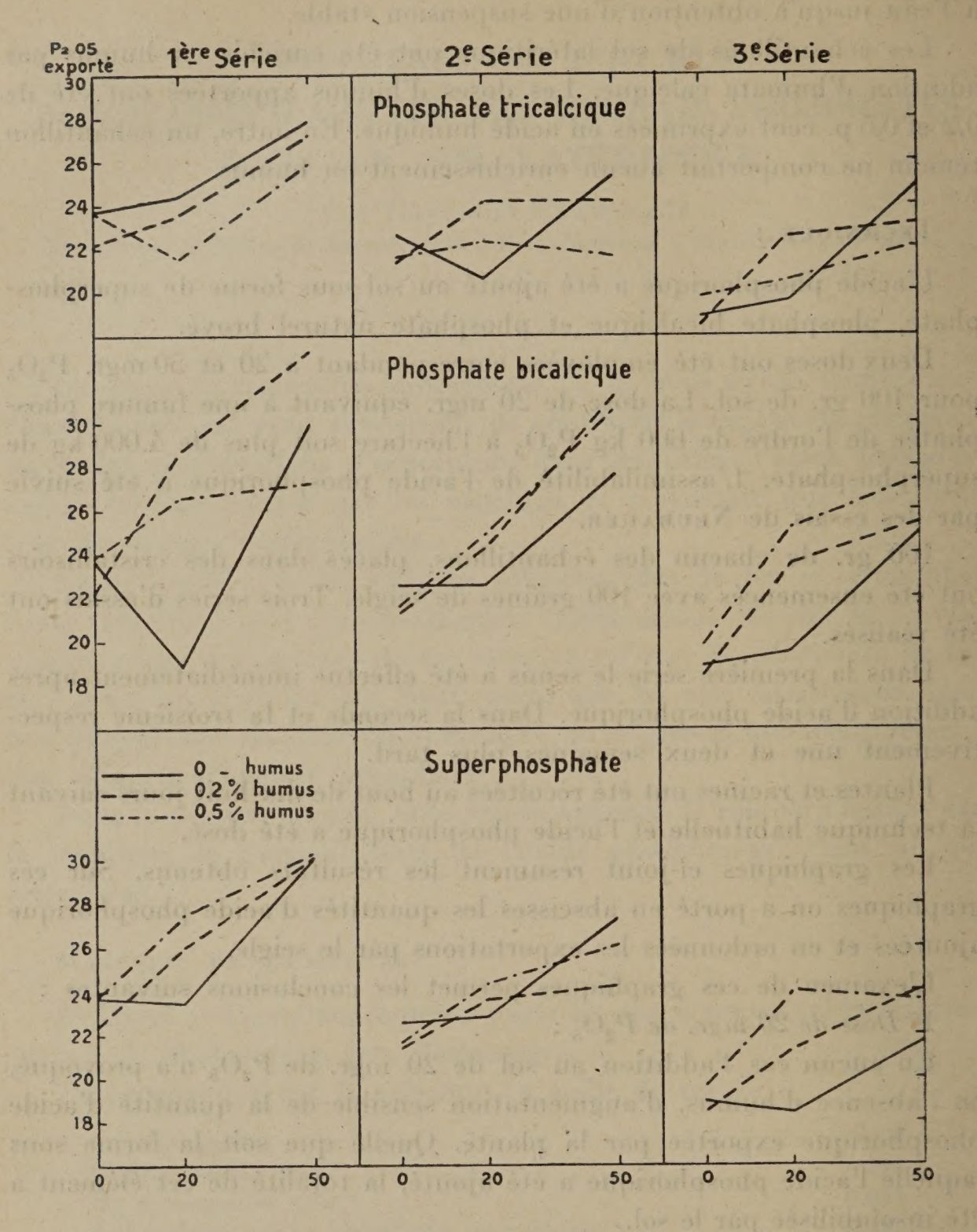
Pour le phosphate bicalcique la différence entre les deux doses n'est plus significative.

De même pour le phosphate tricalcique.

D'une façon générale la dose de 0,5 p. cent ne présente que peu d'avantage par rapport à celle de 0,2 p. cent.

Les coefficients moyens d'utilisation de l'acide phosphorique met-

tent très nettement en évidence l'influence de l'humus. Ces coefficients



expriment la quantité d'acide phosphorique supplémentaire exportée pour 100 de la quantité ajoutée.

Coefficients d'utilisation de l'acide phosphorique.

DOSE D'HUMUS p. cent	PHOSPH. NAT. p. cent	PHOSPH. BICALC. p. cent	SUPERPHOSPH. p. cent
0,00	2,33	1,13	0,50
0,20	13,50	24,00	14,60
0,50	2,30	18,00	17,70

2^o Dose de 50 mgr. de P_2O_5 :

A la suite de l'addition de cette dose qui dépasse très largement les apports habituels d'engrais phosphaté (elle correspondrait à un épandage de 10.000 kg. de superphosphate à l'hectare) il reste, malgré les phénomènes d'insolubilisation de l'acide phosphorique une certaine quantité de cet élément disponible pour les végétaux. L'action de l'humus est pour cette raison beaucoup moins marquée.

Conclusions :

L'addition d'humus à un sol latéritique permet le maintien dans ce sol d'une partie de l'acide phosphorique sous une forme assimilable par les végétaux.

Les essais de NEÜBAUER réalisés sur un sol de ce type ont montré que l'addition au sol de 20 mgr. P_2O_5 p. cent gr., correspondant à un apport de 4.000 kg. de superphosphate à l'hectare, n'a provoqué en l'absence d'humus aucune augmentation de la quantité d'acide phosphorique disponible pour les plantes.

Par contre, en présence de 0,2 p. cent d'humus les coefficients d'utilisation de l'acide phosphorique ajouté au sol ont atteint les valeurs moyennes de 13,5 pour le phosphate tricalcique, 24 pour le phosphate bicalcique et 14,6 pour le superphosphate.

La dose de 0,5 p. cent d'humus ne présente pas d'avantage sensible sur la dose de 0,2 p. cent.

L'efficacité de la fumure phosphatée dans les sols latéritiques se trouve liée à la présence d'humus. Les techniques culturales doivent, dans ces sols où la destruction de la matière organique est intense, être orientées vers le maintien de leurs réserves humiques.

A PEDOLOGIC APPROACH IN SOLVING SOME SOIL PRODUCTIVITY PROBLEMS

J.-S. JOFFE.

New Jersey Agricultural Experiment Station.

I. — Theory and practice (1-2)

The purpose of soil studies is to enhance soil productivity. In furthering this aim, various system of soil management and cultivation have been advanced and practiced. In the course of the development of these systems, many problems have come up, and when solutions have been worked out for many of them, new problems have arisen. Prominent among the problems is the one that deals with the diagnostic phases of factors and conditions in the soil that limit its capacity to produce. This problem has caused misgivings about the soil management practices in vogue and has been a challenge to the student of soil science.

A brief review and critical analysis of the attempts to find a solution for the challenging problem and the presentation of an approach developed and practiced by the author are the subject of this paper. An inkling to this new approach was given in an earlier paper (3).

Total Analyses. — In the middle of the 19th century, it was thought that the science of chemistry would solve the problems of soil productivity as it had solved many other riddles of nature. The mineral theory of Liebig called for a total analysis of the soil and the plant. A soil analyzing 0.1 per cent nitrogen in the first 6 to 8 inches and 0.04 per cent in the next 6 to 8 inches should suffice for about 70 crops of wheat at the rate of 20 bushels per acre, without recourse to any outside sources of nitrogen. Similar calculations were made for other plant nutrient resources of the soil. The result was a stampede for total analyses of soils.

It was soon discovered that these analyses did not provide the information sought. Soils with a low nitrogen, phosphorus, or potassium

(1) *Paper of the Journal Series*, New Jersey Agricultural Experiment Station, Rutgers University, Department of Soils, New Brunswick, N. J., U. S. A.

(2) Factual data illustrating the workings of this approach will be the subject of paper II.

(3) J.-S. JOFFE, 1941. Soil forming processes : *Pedology in the service of soil science*. Soil Sci. Soc. Amer. Proceed. V. 6 : 68-77.

balance were not necessarily poor yielders; and *vice versa*, soils with a high content of these nutrients were not necessarily high yielders. Total analyses as criteria of soil productivity turned out to be a failure. However, we have come to recognize that they are useful for general orientation on the inventory of plant nutrient resources of the soil. To the trained pedologist, total analyses are helpful in interpreting the physical and physicochemical reactions that might take place as a result of soil management practices, such as deep plowing, manuring, liming, fertilizing, irrigating, and cover cropping.

Available Nutrients. — From the middle of last century, agriculturists had divided the soil mass into *active* and *passive* components, the former representing substances that plants can readily and potentially use; the latter-substances that are of no use or of only little use to the plant and serve merely as ballast and mechanical support. At the turn of the century new terms came into use, *available and unavailable* nutrients of the soil. It was recognized that soil productivity was limited by the quantity of nutrients available to plants at any moment. Now and then, this quantity may be low or high. Infrequently, the capacity of soils to produce does not depend on the available nutrients. Some physical property, such as a dispersed condition of the clay, the action of cementing agents, or a waterlogged state, may become the limiting factor in the productive capacity of the soil. Some chemical property, such as poor balance of water-soluble or exchangeable nutrients, might be the limiting factor in soil productivity.

Acid Extracts. — As the various concepts on soil productivity have been advanced and developed, methods for determining it have also multiplied. On the heels of the method of total analyses came the one on acid extractions, using either inorganic or organic acids.

Among the inorganic acid extraction procedures, the 10 per cent hydrochloric acid became popular and has been used extensively in Europe and in the United States. Fifty grams of soil would be extracted with 500 milliliters of acid for 10 hours on the steam bath. It was thought that the acid-soluble constituents represented the active portion of the mineral constituents of the soil. Some correlation was found between the available soil phosphorus and that extracted by this method. Data may be cited correlating a high phosphorus content in acid extracts with soils of high productivity, a medium content in the extracts with soils of medium productivity, and a low content in the extracts with soils of low productivity. A scale of soil productivity on the basis of phosphorus content extracted with 10 per cent hydrochloric acid was then suggested. Many other acid extracts, such as 1 per cent nitric or sulfuric, have been tried. Here and there these methods

are still used. Generally, however, they are no longer considered of value in tracing soil productivity or even as an index for availability of phosphorus.

Concentrated acid extracts have also been used. They give almost as much information on the composition of the soil as total analyses, except for silica, aluminum, and alkalies. Still, this method has not replaced the total analysis. For a pedologic evaluation of the soil, particularly in the zones of laterization and podzolization, the silica and aluminum contents are just as important as the alkaline earths.

Organic and Dilute Inorganic Acid Extracts. — In pursuit of a chemical method of evaluating the productivity of the land, time and again efforts have been directed toward delineating the substances in the soil that are available, i. e., nutrients readily utilized by plants. A search was instituted for a reagent equal in its solubility effects on the soil to the acid substances presumably exuded by roots.

Among the many reagents tested for this purpose were 0.2 N hydrochloric or nitric acid. Of the three fertilizer elements extracted with this reagent, PK gave at times some clues to the capacity of the soil to supply these to the crop. As a standard of comparison, sap of roots was used as extractant. Another way of probing the reliability of these extracts was to compare the PK extracted from the soil with the quantity of these elements found in plants grown on the same soil. After extensive trials with dilute inorganic acids, the various methods were thrown into discard as unreliable.

The search for a reagent giving an insight into the productivity of the soil has been shifted to the testing of organic acids, such as citric, acetic, and tartaric, as extracting reagents. These acids have been found to be almost equal in their power of extracting plant nutrients from the soil to the acids of plant sap and those that are exuded by the plant roots. Dyer, of the Rothamsted Experimental Station in England, has shown that a 1 per cent citric acid comes closest to the aims outlined. He was, in some measure, successful in correlating the P extracted by the citric acid with the requirements of a number of crop plants. Thus, if the citric acid extract gave a 0.01 per cent P_2O_5 content, such a soil was sufficiently supplied with phosphorus for the normal yield of the average grain crop. For root crops, a higher P_2O_5 content was found necessary. A soil giving 0.03 per cent P_2O_5 in the citric acid extract was considered to be well supplied with phosphorus for any crop. Similar correlations have been reported by Dyer for K extracted with citric acid. Others have obtained similar results with acetic and tartaric acid.

More thorough and extensive investigations with various organic

acid extracts on many soils in the United States and Russia have disproved the findings of Dyer. It has been shown that the correlation between extracted P_2O_5 and K and the availability of these to plants is applicable only to a limited number of soils.

SOIL TESTING

With the popularization of the pH concept (emerging from the theory of dissociation by Arrhenius into the work of Sørensen and Michaelis and spreading rapidly to all corners of the world of science) a new chapter has been written in the history of tracing factors and conditions that limit responses of plants to soil treatments. This highly significant physicochemical index, which can be determined easily and rapidly, has been exploited to great advantage in tracing unfavorable soil conditions arising directly or indirectly from a high H- or OH-ion concentration. The pH test has given impetus to the search of quick and rapid tests for other soil conditions that might help in determining the needs of the soil for better and higher crop yields.

Historical Background. — At its inception, soil testing consisted in subjecting the soil to one or more of the methods of analyses outlined above and to prescribing a remedy. In the zones of podzolization and laterization, where acidity is the most limiting factor in crop production, an application of some liming material was, and still is, the first ameliorative measure. This recommendation was, as a rule, followed by the suggestion that some kind of fertilizer mixture be added. Another suggestion usually made has been to increase the organic matter content of the soil. On this last point, recommendations were neither clear nor practical in the face of the dwindling supplies of barnyard manure and the elimination of meadow and pasture land.

For handling soil acidity problems, the pH value in the hands of a trained man provides a basis for lime requirement recommendations. With few exceptions, a soil showing a pH of 5.0 or lower rarely responds to proper management and fertilization unless limed. To test such a soil for anything else is a waste of time and energy. Lime, fertilizer, and minor elements are to be recommended, the quantities being fairly well standardized for the respective crops in the locality. In appraising common soil troubles, especially in the zones of podzolization and laterization, the pH determination stands out as the first in line.

With the growth of the fertilizer industry, the manufacturer and dealer of fertilizer as well as the farmer have raised the question as to the safe limits in the use of fertilizer salts. The dealer was, naturally, anxious to sell as much as possible, and the farmer was willing to buy

more, provided he was assured safe and economic returns. Out of these viewpoints once more the question of soil productivity, as such, and its relation to fertilizer additions, came to the fore. Specifically, information was sought on the maximum quantity of fertilizer one could with no injurious effects to the crop or the minimum quantity needed for maximum effect.

Exchangeable Bases in Evaluating Soil Productivity. — In the course of developments, the old tests (except the cylinder and plot) for determining productivity of the soil and its fertilizer requirements have undergone some modifications, such as the use of new extracting reagents—sodium acetate at a certain pH, or different strengths of the old reagents. It was also soon realized that the exchangeable bases, particularly K, Ca, and Mg, play a part in the productivity of the soil and the effectiveness of fertilizer applications. Taking the available bases of soils of high productivity as the criterion, standards have been set up by which other soils may be judged. This information, however, does not give the true picture of the soil's capacity to produce, since crops make good use also of the non-exchangeable bases and anions.

Other Elements Tested. — Other elements and radicals, besides the bases extracted with one or another solution, are also determined. Special stress is laid on nitrates, ammonia, and phosphorus. Again comparisons are made, with soils of high productivity as the standard. Aluminum, manganese, ferric and ferrous iron, and sodium are frequently tested for. Sulfates, chlorides, carbonates, and occasionally the minor elements, such as boron, copper, and zinc, are determined. When a soil comes from areas where sprays are used test are made for arsenic and lead.

Fertility Level. — The quantity of bases and other nutrients determined, as outlined, are then tabulated and compared with the standards, the quantities found in soils of known productivity. From these data, a fertility rating or fertility level is assigned to the soil tested. These fertility levels are designated as high, medium, and low; good, fair, and poor. Some tests report the quantity of the respective ingredient in pounds per acre. A number of colorimetric, turbidimetric, and electrometric methods have been developed for these tests. Most of these are microchemical in nature and can be made quickly—thus the name “quick tests” or “rapid tests”.

Status of Soil Testing. — For about 10 years, from 1930 to 1940, the rapid tests spread like wildfire, even though a number of Experiment Stations have not accepted them. These tests have not been indorsed by the highly trained chemists in the field of soil science in the United States and Europe. Their popularity may be ascribed to their

appeal to the average layman, who is looking for a prescription remedy. The extravagant claims made by the proponents of "soil testing" contributed to their short life.

It took no time to find out that the so-called fertility levels have no real meaning. Soils testing high in phosphorus or potassium have been found to respond to phosphate or potassium fertilization. The tests for nitrates have been a disappointment from the beginning, because of the variability of the nitrates in the soil, resulting from their ease of movement with the percolating waters and their utilization by plants. A nitrate test of a surface sample is of no value in interpreting the condition of the soil in this respect.

None of the chemical and biological tests thus far advanced have taken into consideration the dynamics of soil processes and weathering. No allowances are made by any of the tests for the changes in the chemical system of the soil resulting from seasonal variations, meteorologic conditions, status of plants, and methods of tillage, liming, and fertilization. Any one of the factors mentioned (and there are many others) may throw off the test. To cite just a few examples : any soil will test differently before and after heavy rains. More bases will be found in the soil in late summer and fall than in the spring. Less exchangeable K will appear after a drought. Less phosphorus will be extracted in early spring than in late fall. Microbiological activity frequently upsets the nutrient balance in the surface soil.

The rapid soil tests as applied now do not serve the purpose for which they were originally widely advertised, namely, to advise the farmer on the exact quantity of fertilizer for this or the other soil and crop. Farmers have discovered that the recommendations of the "testers" did not vary from those of the pre-rapid-testing days; and whenever there were some variations, the results failed to justify the innovation.

The little reliable information soil testing does give, such as the base content, is not sufficient for the evaluation of the problems of soil productivity. Even the highly trained specialist can seldom apply this information for the purposes for which soil testing was advertised.

A fundamental objection to soil testing as practiced now (irrespective of the accuracy of the test) is the total disregard for the condition of the soil in the profile. As a rule, surface soil only is tested. Plant soil relationships have to be examined with reference to the profile.

PLANTS AS INDICATORS OF SOIL CONDITIONS

Having failed in establishing well-defined and accurate criteria for measuring productivity of soils and in determining the correlation of soil composition to crop growth and response to fertilization, the

"soil tester" has turned to plant testing. For centuries, plants have been analyzed to account for the riddles of growth in relation to soil conditions. Many hunger signs in plants have been recognized for a long time. Chlorosis of foliage is a sign of the lack of nitrogen, sulfur, or iron. Purplish color of tomato foliage and black spots spreading from the edges of beet foliage are sure signs of phosphorus deficiency. A low yield of grain with a high yield of straw is usually caused by a lack of available phosphorus. Yellowish-brownish tinges of foliage followed by patches of deep yellow-brown which take on a whitish hue are definite signs of potassium deficiency. (These symptoms resemble scorch and are often mistaken for burning or "firing". Lighter green patches in the dark green foliage of sweet potatoes indicate magnesium deficiency.

In appraising the diagnosis of deficiency symptoms in plants as a guide for treating soils, it is well to keep in mind that the hunger signs described may be due to other causes, such as ravages of insects or diseases. *lack of aeration resulting from a temporary influx of organic matter, which on decomposition robs the soil of its oxygen*, waterlogged conditions, droughts, and paucity of known and unknown minor elements.

Chemical Composition of Plants. — This method of determining soil deficiencies is based on the assumption of a direct relationship between plant composition and the capacity of the soil to supply nutrients. Thus, if any one of the nutrient elements were deficient in the soil, the plant composition would show it. Essentially, this approach is a renovated Liebig mineral theory.

As far back as 1858, the French investigators Malaguti and Durocher demonstrated that the ash of turnips grown in soils rich in calcium and poor in this nutrient contained 28.0 and 13.6 per cent CaO respectively; of black radish—43.6 and 19.5 per cent; of red clover 43.3 and 29.7 per cent. Red clover grown on soils rich in potassium and poor in this element contained 27.6 and 9.6 per cent K₂O respectively. The value of feed grown on soils rich in the various nutrients has long been recognized. The classical example cited is the preference animals show in grazing when placed on plots rich or poor in phosphorus. They invariably choose the phosphated plot. In the early records of cattle grazing in Florida, disease conditions were often referred to in terms of grazing land, such as "hill-sick" and "marsh-sick". Studies have shown the relationship of soil deficiencies to the health and growth of animals.

A critical analysis of the mass of data available on this subject leads to the conclusion that the correlation between plant composition and soil deficiencies holds true only if all other factors of plant growth in

relation to soil conditions, save the element discovered to be deficient, are uniform and normal. It has been shown repeatedly that time of planting may cause a difference in composition of plants. Differences in moisture content of the soil or abnormal variations in meteorologic conditions during the growing season may radically change the composition of the crop. By a change in the osmotic concentration of the soil solution, the nitrogen content of wheat may be made to fluctuate from 1.5 to 2.5 per cent. The composition of plants varies with the stage of growth. Neither are the individual parts of the plant of the same composition. Thickness of stand, rate of seed used, poor or excessive supply of certain elements in the soil may be the cause of the deficiency of some particular element. Thus, an excess of calcium may cause a deficiency of magnesium. Considering all the possible discrepancies involved in testing plants, one must come to the conclusion that this method is of limited value.

Plant Sap Analyses. — Hoffer in the United States was one of the first to examine plant tissue as a guide in detecting soil deficiencies. A definite procedure of expressing plant juices (sap) and testing these for plant nutrients was developed. It was reasoned that paucity of certain nutrient elements in the sap is definite proof of the deficiency of these elements in the soil. Other investigators used plant sap exuded by gutation. Again, it was reasoned that nutrients found in this sap come from the roots and are therefore more representative of the capacity of the soil to supply these nutrients.

Criticism presented on plant analyses as a method of discerning soil deficiencies is applicable to the plant sap method in its several modifications.

A Pedologist Tackles Soil Problems.

Except for tests conducted with plot experiments, the various tests designed to unravel the secrets of soil productivity fall short of their aims because they fail to appreciate the soil as a body in nature. Data of plot experiments would mean much more if the plots were studied and the experiments laid out in accordance with the profile characteristics of the soil. The reactions and behavior of any part or horizon of the soil body are so interdependent that a genuine evaluation of soil phenomena can be made only with reference to the entire soil profile and not to a detached part. Any disturbance in a localized area of the soil body must be examined in relation to the entire body. As in the human body, a headache is not necessarily local in nature. It may be caused by irregularities in the digestive system, nervous apparatus, glandular functions, hormone secretions, and other parts of the human

organism. Similarly, an irregularity noted in the A_p may have its origin in the A_2 or B horizon.

The Soil as a Patient. — From the criticism advanced in the foregoing pages on methods of testing soil deficiencies and realization that, at best, the tests, for the present, can serve only the purpose of trouble shooting, the author has developed and practiced successfully a pedologic system of diagnosing soil troubles.

A fundamental theorem of this system is : *soil troubles cannot be rationally evaluated, by examining a sample of soil by any rapid soil tests or by any one of the plant tests designed to trace soil deficiencies.* The entire soil body has to be examined by a trained pedologist on the spot. Like the physician, the pedologist can, now and then, prescribe a remedy without seeing the patient, the soil. We know, however, that in most cases the physician insists on seeing the patient. And likewise, the pedologist insists *on examining the soil in place.*

In a preliminary morphologic examination of the soil, definite clues may be found to the possible causes of the poor condition of the crop. A preliminary diagnosis of the perplexing troubles is then made. To corroborate it, a more thorough examination of the soil and series of tests on a soil-water extract have to be carried out.

A detailed discussion of the steps involved, the techniques employed, and the interpretations of the data will illustrate the theoretical basis and the soundness of this approach.

SOIL EXAMINATION

Drainage Features. — Any field presenting a soil problem should first be examined for signs of poor drainage. On plowed land, in the zones of podzolization and laterization, color is an excellent index of drainage conditions. Black or gray is a sure sign of poor drainage, due either to a high water table or to surface swamping. After the owner is questioned on the behavior of the field as to the incidence and length of time water generally stands on the surface in late winter, spring, or after heavy rains during the summer, and on the presence or absence of tile, a proper diagnosis with reference to drainage may be made.

Profile Inspection. — Whatever the drainage condition of the problem field, a profile inspection is the next step in examining the soil.

Two or three holes, 15 to 20 inches in diameter, and to a depth of 20 to 24 inches, are dug with a round-pointed shovel in the field. Bent over the opening, the practicing pedologist makes, with a strong garden trowel, another stab, 6 to 10 inches deep, in the bottom of the narrowing hole. By tapping with downward strokes over the exposed cut with

the point of the trowel, the presence or absence (the latter is the case in fluviogenic immature soils) of the various horizons and their depths are established. The following is to be observed :

A_p . — If the depth of plowed material (usually referred to as “top-soil”) is greater than the average depth of plowing practiced in the locality, it is definite evidence that erosion has transported surface soil into the area. Generally this type of erosion is advantageous to the area, since surface soil, as a rule, moves in. Depth of plowing should be determined, and one should be on the lookout for plow sole. If the depth of A_p is normal, the following points are to be considered :

1. *Has the soil the typical musty odor?* If undecomposed organic matter, from plowed under barnyard or green manure, is present and putrefactive odors resembling sewage are noted, it is a sure sign of poor drainage. It may even be a temporary condition and not indicated by any well-defined mottling symptoms. The author has encountered many such cases in heavy soils, where large quantities of manure were added in the spring, and the season happened to be on the wet side. Neither soil testing nor plant sap analyses can ever detect such cases.

Such soils should never have the manure plowed under. Disking the manure into the surface 4 to 5 inches is preferable. For immediate relief, a mixture of lime and gypsum in the ratio of 3 : 1 (500 to 800 pounds per acre, besides the regular lime application), and 50 to 100 pounds of Epsom salt plus 15 to 25 pounds of manganese sulfate and 3 to 5 pounds of borax will help in draining the soil faster. If the field is in a cultivated crop, ridging will do a lot of good. Fertilizer, if used, should carry nitrates as the source of nitrogen.

2. *How deep is the A_p and is there a plow sole?* The high absorptive capacity of the A_p for moisture and nutrients results in the concentration of roots in this layer. This is particularly true for the zones of podzolization and laterization. Shallow plowing in these zones is often associated with plow sole formation, especially if the soil is strongly acid. Plow sole may also be the result of dispersion caused by a high pH brought about by excessive and exclusive use of nitrate of soda or excessive amounts of potassium-bearing salts. A plow sole condition is often the cause of many troubles : temporary swamping, slow percolation of water, and poor aeration. Plow sole is most injurious to plants in their active stages of growth. When a drought strikes, plants grown under conditions of a plow sole quickly succumb, since the roots are concentrated in the A_p . With an abundance of rainfall, the plow sole holds back the water and drowns the roots. Putrefactive decay sets in. On several occasions, when farmers complained about their soil, which,

in their words, "was tested and the report stated that there was nothing the matter with it", the author told them: "Put your nose to a handful of soil from the plow sole, or bend down over the open hole and say whether something is the matter with the soil". It was not necessary to have a keen sense of smell to detect the foul sewage-like odor. In this and similar cases, the farmer had a heavy cover crop plowed under on top of a bad plow sole.

No examination of a soil sample by any method, and no test made on plants brought in from the field, will ever give a clue to the presence or absence of a plow sole. Of course, the remedy for plow sole is to change the depth of plowing from year to year and plow under some lime and gypsum mixture, ratio 3 : 1, from two to four tons per acre to start with and applying annually 500 to 800 pounds of this mixture as the condition may call for.

A₂ and B. — The next step in the examination of the soil is to dig with downward strokes of the trowel into the horizons underlying the *A_p* (*A₂* and *B* horizons), noting the differences in texture in the profile, observing color changes, smelling for strange odors, and noting the structure and cleavage of the lumps of soil as they are crushed.

1. *What does the color of these horizons tell us?* A uniform gray-brown, brown, reddish brown, or brownish red, with the intensity of the brown to red coloration increasing from *A₂* to *B*, is good evidence of effective oxidation, or aeration and good drainage.

Streaks or patches of brown, gray, bluish or greenish gray through the mass of these horizons (commonly known as mottling) are evidence of poor drainage. Fields showing a discoloration on the surface, as discussed in section on "Drainage Features", and mottling within the *A₂* and *B* substantiate the diagnosis of poor drainage. A search for the depth of the water table should be made. Usually this information is furnished by the farmer. Tile drainage is the only radical remedy for poorly drained land. If surface swamping is the cause of mottling, the lime-gypsum mixture treatment as described, should be recommended. The usual rapid soil tests, plant tissue tests, or sap analyses can never detect the cause of the crop's distress brought about by surface swamping.

2. *Condition of roots?* Indeed, if the soil profile below *A_p* show no apparent abnormalities and roots still refuse to go beyond the *A_p*, the trouble, with few exceptions, is a high acidity in the *A₂* and *B* horizons or a very sharp difference in the pH values for the *A_p* and *A₂*. Time and again, the author has seen fields that tested high for all elements and yet did not support a good crop. Invariably the cause was high

acidity of the A_2 horizon. The crop was forced to thrive in the A_p only, thus limiting the *feeding grounds* of the roots, particularly for moisture. Of course, the remedy is lime, which is introduced into the A_2 and B_1 , by plowing under or following the plow in the furrow by some implement to introduce extra lime in the horizons below the A_p .

Infrequently, roots in the A_p show signs of burning. The roots, instead of being white, are brown. Invariably, brown roots are associated with a high salt concentration resulting from the band method of fertilizer placement. This condition is usually aggravated in the early stages of plant growth during a dry spell. Poor aeration and lack of certain elements also cause burning. A conductivity test will differentiate between burning caused by a high concentration of salts and other causes.

3. *Does texture offer clues to troubles?* Sandy soils with little or no B horizon development (the sandy to loamy sand classes) infrequently suffer from a lack of moisture, especially in dry years. There is nothing one can do about that, except provide supplemental irrigation. In wet years, crops on such land may suffer from lack of nutrients because of excessive leaching. Sandy soils should therefore be fertilized fractionally, just a few hundred pounds of the nutrients being applied at planting time and sidedressed later.

Light sandy soils may be excellent for perennials, such as asparagus or fruit trees, which are deep-rooting and may derive water from the lower layers. For these crops, liming the soil to depths of 2 or more feet will more than pay. Indeed, many orchards on light soils begin to suffer at a certain age when the root system reaches more and more deeply and meets increasingly unfavorable conditions of acidity.

In soils with a well-developed B horizon (of sandy loams, loams, and heavier textural classes), compaction may often be mistaken for a hardpan.

An acidity test of such a compacted layer will disclose a low pH. Incorporation of lime and gypsum into the A_2 and B is the remedy for such a condition. Deep plowing, cutting 6 to 8 inches into the bottom of the furrow, and growing perennials, especially alfalfa and clovers are means of improving soils of such profiles makeup.

In examining the B horizon, careful notice is to be taken of possible hardpan. Seldom is there a hardpan in well-drained soils. It may be encountered where ironstone formed in an earlier period in the development of the soils, or in the presence of gravel. Pan-breaking with chisels and dynamiting are the remedial operations. Dynamiting is especially useful, if not imperative, in orchard plantings on soils having hardpan. As a rule, the C horizon of a soil having ironstone formations

is open and well aerated. Here and there, a stab 10 to 15 inches deep into the C horizon offers some valuable information. Generally, however, not much can be inferred from the C horizon beyond the 10 to 15-inch depth below the B horizon.

A mechanical analysis of a suspicious soil profile or of some one layer in the profile may be helpful in detecting some disturbing physical factor. An excessive clay content of the montmorillonitic type in the soils of the humid climate (a rather rare phenomenon) or the presence of certain types of fine sands may bring about compactness, baking, caking, and brick-like constitution of the soil mass. Generally, such textural properties may be detected by the field test of mechanical analysis — the feel between the fingers.

Sampling the Profile. — With the information assembled by the system of morphological soil examination, as outlined, the diagnosis may be obvious in a great many cases. To corroborate the general diagnosis, the profile has to be sampled and some chemical and physical tests must be made.

The hole dug for the profile examination is cleaned out and the following samples are taken: the surface and bottom parts of A_p ; the layer immediately below the A_p , usually a 4 to 6-inch layer of the A_2 ; sometime, the next 6 inch layer, usually of the B_1 . Sample B_1 is taken first. In this manner, digging with the trowel from a point below A_2 downward will not fill the hole and cover the A_2 , which is taken next. The last samples are taken from A_p , first from 0 to 4 inches and then down to the bottom. In most cases sampling of the B_2 horizon is not necessary.

In all, the digging, examining, and sampling of the profile should take not more than 15 to 20 minutes. If the topography is rolling, it might be advisable to examine a number of profiles and take two or three samples. The soils are subjected to a definite procedure of analyses and tests, as described presently. How many of these samples one has to take depends on the information made available by the morphological examination and the ease with which the puzzles are solved.

Air-dry soil samples are taken for a water extract. A 1 : 3 soil-water ratio is used for heavy soils and those high in organic matter, such as mucks or drained lowlands (1). A 1 : 2 ratio is used for soils lighter than sandy loams.

Dispersion. — If upon mixing of the soil and water, mineral and organic substances remain in suspension after 20 to 30 minutes, the soil is said to be dispersed. This condition reflects some irregularity in the

(1) For genuine mucks and plots a 1 : 5 ratio has to be used.

behavior of the soil colloids. Dispersion of the soil in the forest regions is generally due to lack of electrolytes, a condition prevailing in soils during the late winter and early spring, or after a prolonged rainy spell. A conductivity test will tell the story on the electrolyte content. Dispersion of soils in the brown, chestnut-brown, and chernozem soils is an indication of solonetzic conditions. In the zone of podzolization and laterization, dispersion indicates the effects of sodium and sometime potassium. Cases of this kind come up whenever excessive amounts of nitrate of soda and of muriate of potash are added as fertilizer, or through the use of irrigation water containing some sodium chloride, and sometime sodium bicarbonates. In truck gardening sections where supplemental irrigation is a common practice the deleterious effect of sodium have been encountered by the author. A recent application of liming materials-carbonates or hydroxides of Ca and Mg also cause dispersion. This, however, is a temporary condition. Additions of lime-gypsum mixtures Epsom salt, manganese sulfate, and borax, as mentioned earlier, and replacement of the bulk of nitrate of soda with other sources of nitrogen, such as sulfate of ammonia, urea, and ammonium nitrate, will eliminate the dispersion. Acid soils rich in organic matter, such as mucks, may also be highly dispersed. To these soils, the lime-gypsum mixture, manganese sulfate, borax (the quantities used for mucks are to be twice or three times as much as for upland soils) and 100 to 150 pounds of copper sulfate should be added.

In making observations on the water extract, the color of the solution before and after filtering should be recorded. A brown color is an indication of the presence of soluble organic compounds. Some soils, especially those rich in organic matter, are frequently highly colored and turbid. As a rule, these soils show an appreciable content of crenic and apocrenic acids (organic acids that precipitate from an acidified solution only upon the addition of Cu-sulfate or acetate). This type of soluble organic matter is generally considered as undesirable. The additions of copper sulfate recommended for the dispersed condition together with the gypsum precipitate these acids.

A clear solution, even of slightly colored, is usually an indication of good physical condition of the soil. As a rule, soils giving a clear solution filter much more rapidly than those that give turbid and brown solutions.

pH. — The pH value of the soil profile is by far the most important single diagnostic test. It reflects many reactions and conditions of the soil.

If the pH of the A_p is from 6.2 to 7.2, and the soil is dispersed, one should suspect recent additions of hydrated lime or limestone. If

white specks can be picked out and they effervesce when treated with hydrochloric acid, the suspicion is corroborated. A pH reating of the A_2 should be taken. If this is low, the cause of the disturbance may be due to the sharp variation in the pH readings of the respective horizons. For proper functioning of plant roots, the pH should be uniformly favorable throughout the profile.

If the pH is above 7.0, the soil is dispersed, and no free lime is apparent, the chances are that this soil had been receiving excessive quantities of nitrate of soda or excessive quantities of potassium salts. If the soil has been irrigated, sodium why have come in as the chloride or bicarbonate. In such cases, the entire profile, as a rule, has a high pH, even though there may be very little or no sodium in the exchange complex. Generally, the addition of a lime-gypsum mixture and proper adjustment of the Ca : Mg ratio will speed up the recovery of such soils.

Low pH and High Base Content. — A relatively low pH (from 5.0 to 6.2) in soils rich in organic matter, such as mucks, peats, meadows, pastures, lawns, and turf courses, is not necessarily an indication of a low base (Ca, Mg, and K) content. These soils have a high cation-exchange capacity. They may contain large quantities of exchangeable Ca and Mg, but the relatively larger quantities of H keep the pH down.

Ca : Mg Ratio. — Liming with materials containing little or no magnesium causes an undesirable widening of the Ca : Mg ratio. Large applications of superphosphate will cause the same thing. Under conditions of a high pH, a wide Ca : Mg ratio is especially dangerous, since *some* of the magnesium is apt to become unavailable. This may take place particularly in soils of the zones of podzolization and laterization. Some of the Mg ions may unite with silicate ions, which become free in these soils, and remain unavailable as insoluble silicates. There is also the possibility of the formation of the not too soluble hydroxide of magnesium. Additions have to be made of some source of Mg, 25 to 50 pounds of magnesium oxide, in the form of potassium and magnesium sulfate (sulfate of potash-magnesia) or Epsom salt. It is important to remember that sidedressing with one element, as is frequently done with acid phosphate or more often nitrate of soda, is generally not the best procedure. It upsets the balance of nutrients, and the results are not so good as they might have been if a mixture of salts had been used. Therefore, when Mg is added, it is best to supplement it with 200 to 300 pounds of dolomitic limestone, 100 to 150 pounds of a complete fertilizer, 7-7-7 grade, 15 to 25 pounds of manganese sulfate, and a few ounces of borax.

Water-Soluble Constituents.

With the data assembled by examination of the soil, as outlined, its physico-chemical system begins to tell the whys of the favorable and unfavorable conditions in the soil. Its behavior and response to management and cultural practices become obvious and clear. To substantiate and corroborate deductions made and conclusions reached, a series of simple qualitative and a few quantitative chemical tests, which take but a few minutes, are carried out on soil water extracts. The novelty of these tests lies in the interpretation, with the pedologic examination as a background.

Specific Conductance. — In interpreting specific conductance measurements, we must remember that the conductivity of a solution depends on the number of active ions present. As the concentration of ions decreases, the specific conductance must diminish. Variation in the capacity of the solute for conducting electricity, which takes place with change in concentration, cannot be directly determined, therefore, from a study of specific conductance. Neither does conductance give a clue to the character of the salts in solution. A high conductivity, however, is an indication of an increased concentration of salts. A low conductivity is an indication of a low level of the rate of supply of nutrients, or a complete lack of some of these.

Whereas soils of a high productive capacity, as a rule, have a higher conductivity than poor soils, no direct relationship has been found between conductivity and general state of fertility of soils (1). For this reason, conductivity measurements alone cannot be used in diagnosing soil deficiencies. However, numerical values of conductivity offer a basis for comparing soils. These values also offer clues to the causes of certain troubles.

In trouble shooting, or in determining the condition of the soil in general, two fields or two spots in the same field (one where the crop is good and the other where it is poor) should be examined.

Two fields, for all practical purpose of a similar soil type and similarly treated, may show wide variations in crop response. A conductivity determination will help in determining the source of these variations. If the field with the poor crop has a low conductivity value, a

(1) Mohs, or Ks readings (a number, $\times 10^{-5}$ expressing specific conductance) of soils in the zones of podzolization and laterization devoted to general farm crops may vary from 3 to more than 50, depending on the nature of the soil, the season and other factors. Low readings are typical for the winter and early spring seasons. High readings occur during droughts in the summer or early autumn. Readings as high as 400, without apparent injurious effects, were recorded by the author on leachings of soils devoted to market garden crops in New Jersey. In pedocals, the readings are generally higher than in pedalfers (See U. S. Dept. of Agr. *Technical Bulletin* (1942), no. 813).

reading below 10×10^{-5} mohs, and the field with the good crop shows a much higher conductivity, a reading of 30 to 10×10^{-5} mohs, the picture is clear. The field with the low conductivity suffers from a lack of nutrients or a very low rate of supply, whereas the good field has an ample supply. A check on the texture of the respective fields may show that the poor field has a poorly developed B horizon which does not retain the nutrients. If the poor field shows a high conductivity, however, the cause has to be determined. It may be one of the following :

1. An excess of salts, chlorides, sulfates, and nitrates. Again and again the author has found this condition in greenhouse soils, in muck land, and sometime in upland soils. The remedy is obvious : If possible, the soil should be flushed with water.

2. If the chloride and sulfate content is low and that of the nitrates high (50 to 100 ppm. or more), the picture is clear. The high conductivity is due to either an excessive application of mineral nitrogen, which is converted into nitrates, or a natural accumulation of nitrates. The latter is a rare phenomenon in the humid regions, except in special cases, as will be pointed out presently. Under such circumstances, the poor condition of the crop is due to a general deficiency and unbalanced state of nutrients. Addition of a mixture of limestone, gypsum, Epsom salt, acid phosphate, manganese sulfate, and a little borax (and copper sulfate to soils rich in organic matter) should be made. The amounts to be used will depend on the soil texture. The quantities given for sidedressing in the section on the Ca : Mg ratio may serve as a guide for a loam soil.

3. If the sulfate content only is high, the high conductivity is due, as a rule, to the gypsum of the acid phosphate. In this case, there may be a lack of one or more of the nutrient elements : nitrogen, potassium, magnesium, and manganese. Applying a combination of salt of these elements, rather than trying to pick out the deficient element, has been found to give the results desired.

It is to be noted that for a better interpretation of the conductivity data, tests are desirable on the chlorides, sulfates, nitrates, and ammonia in the water extract (1).

Chlorides. — Chloride is an excellent tracer ion. Soils heavily

(1) The values for chlorides and sulfates are based on an arbitrary turbidity scale. No turbidity is designated by 0; faint turbidity by « trace »; with an increase in turbidity, numerical values in the order 1, 2, 3, 4, and 5 are used. For nitrates, the quantitative phenodisulphonic acid test is used. For ammonia the Nessler test is used qualitatively, the arbitrary values of trace, 1, 2, 3, 4, and 5 being given on the basis of the intensity of the color and precipitate formed. The operator, after a little experience, has no trouble in recognizing the arbitrary qualitative-quantitative values assigned.

fertilized receive the Cl by way of the commonly used muriate of potash. The absence of Cl in a water extract is an indication of the loss of K by leaching. Assuming this to be true, one may logically conclude that other cations, especially NH_4 , Mg, Mn, and Ca have also been subjected to the same fate as the K. In other words, a negative Cl test is a sign of a possible deficiency in general nutrient supply. No final conclusion is to be made, however, unless tests for nitrates, sulfates, and ammonia corroborate the suspicion around by the lack of Cl.

Of course, the lack of water-soluble K does not always indicate a lack of exchangeable K. However, there is no conclusive proof that the exchangeable K is sufficient to supply the plant with K at the rate it requires. Repeated tests made on soils virtually devoid of Cl throughout the profile have proved these soils, to be, as a rule, low in exchangeable K.

The presence of Cl in the profile, with a gradual increase (2, 3, or higher on the scale of values) with depth, tells the story on the movement and translocation of plant nutrients. This story may also provide a useful hint on the behavior of the crop.

Excesses of Cl (a reading of 5 on the scale) all through the profile in the soils of the zones of podzolization and laterization call for a quantitative evaluation of this element. In many cases, the author has traced these excesses to large applications of muriate, accidental entry of chlorides by way of irrigation water, or additions of common salt. In one case the sand used in a greenhouse has been contaminated with NaCl and CaCl_2 applied to the sans pit during the winter season to prevent freezing.

Sulfates. — The absence of water-soluble sulfates throughout the profile serves as additional evidence of a deficiency of nutrients indicated by the negative chloride test. Since sulfates in the soil originate from the gypsum carried by superphosphate, a negative test for sulfates is an indication of a deficiency of available soluble phosphates. On the other hand, a high test for sulfates is good evidence of the presence of available phosphates and an indication of a poor Ca : Mg ratio, as pointed out earlier. Invariably P can be found whenever the sulfates are high.

A positive test for sulfates and chlorides is ample proof that the poor condition of the crop cannot be ascribed to a deficiency of K, P, S, or Ca. Of course, there is always the possibility of a lack of Mg or nitrogen or of immobilization of minor elements by recent liming. Addition of Epsom salts, a mixture of sources of N (if the NO_3 test is negative), and the minor elements will frequently be the right answer. Mg is a case by itself as it might not be so much a lack if it is too wide a Ca : Mg

ratio due to the Ca of the superphosphate and calcitic limestone frequently used.

Nitrates. — A quantitative determination of nitrates, made easily and rapidly by the phenoldisulfonic acid method, if properly interpreted, is very helpful on clarifying the poor condition of a crop. One must keep in mind that nitrates are readily utilized by plants and microbes and are constantly being replenished by the process of nitrification. It is difficult therefore, to judge the significance of a low nitrate content. As a rule, it goes hand in hand with a low chloride and sulfate content caused generally by excessive leaching.

From the case histories of hundreds of fields examined and treated successfully for deficiencies, the author came to the following conclusions. *Whenever soils in general farm crops and orchards contain not more than 2 to 5 parts per million of nitrate nitrogen, or soils in market garden crops and in cultivated crops, such as potatoes, cotton, and sugar beets, carry not more than 10 to 15 parts per million of nitrate nitrogen, it is time to sidedress.* This kind of treatment is to follow, even if the chlorides and sulfates do not show clearly a case of leaching (the presence of these in the A₂ and B₁ horizons). It is possible, however, that a low nitrate content is due to the low nitrifying power of the soil caused by acidity or, more often, by waterlogged conditions. Cases like these are associated with soils heavily manured or rich in organic matter. The treatment for these soils is the addition of limestone-gypsum mixture, plus Epsom salt, manganese sulfate, copper sulfate, borax, and some nitrate of soda, 100 to 150 pounds per acre. The quantities of the other ingredients are to be gauged, as discussed earlier.

Whenever the water extract shows a high nitrate content, this may be due to the following :

1. A faulty practice of sidedressing with excessive amounts of "soda" (nitrate of soda); heavy applications of manure, especially poultry or sheep manure. Nitrates may also accumulate in the profile during prolonged droughts, when none are washed out, and plants are not capable of using these. As much as 80 to 100 parts of nitrate nitrogen per million pounds of soil, equivalent to 500-700 pounds of nitrate of soda, were found in many fields of New Jersey during the summer droughts of 1942, 1943, and 1944. Crops grown in soils favorable for root development throughout the profile did not suffer from such an abundance of nitrates. The roots reached the A₂ and B horizons, where the concentration of nitrates was not high. There, plants found the other nutrients necessary to meet demands caused by the stimulated growth due to the nitrates. There, plants also had sufficient moisture.

Large quantities of nitrates are frequently the cause of troubles in

soils rich in organic matter, especially mucks that are well limed and heavily fertilized. This condition is very common in greenhouse beds. In these cases, it is usually the total concentration of salts rather than the high nitrate content alone that distresses the crop. Flushing the soil with large quantities of water until the conductivity is reduced to a point below the critical one for plants, as discussed earlier, is the remedy.

In fields where the B horizon is acid, roots stay in the A_p . With an excess of nitrates or any other soluble salt in the A_p due to drought, the intake of water by plants is reduced. Besides, the roots suffer from a high salt concentration and turn brown. Flushing the soil and treating it with lime and the other ingredients necessary to give the plants a balanced diet will cure this condition.

2. Whenever extra "soda" is added, or sufficient nitrates are produced naturally in the soil, plants are stimulated. This supply of nitrates puts a demand for a greater rate of supply of other nutrients, which, if not available, cause the nitrates to stay in the soil. At the same time, the nitrates stimulate the microbial flora, which also ties up other nutrients. If chlorides and sulfates are present in traces only, it is very clear that the soil is in need of nutrients other than nitrogen. In such cases, sidedressing with a 0-10-10 or fertilizer of similar grade, depending on the crop, has almost always resulted in a marked improvement of the crop.

Ammonia. — A high ammonia test may be due to a recent application of some ammonia-bearing nitrogen salts. If no ammonia salts have been applied, a high test for ammonia is an indication of low oxidation, or poor aeration. Muck soils or heavily manured soils that tend to be poorly drained frequently show a high ammonia content. As a rule, this phenomenon corroborates the findings of the morphological examination. In such cases, treatments prescribed for poor drainage conditions (lime-gypsum mixture, Epsom salt, manganese sulfate, and a little borax) are in order. These treatments seldom fail.

A negative test for ammonia with negative or low tests for Cl , SO_4 , and NO_3 is conclusive evidence that the soil is deficient in nutrients. A negative test for ammonia alone is no evidence even of a deficiency of nitrogen. The nitrate test has to be looked into.

Summary Statement. — The procedure of examining and testing soils, to determine why they do not produce as they should, is an evaluation of what is going on in the soil profile. Whenever possible, *the method of comparative analysis* which permits deductions by the process of elimination is to be followed. This involves the examination, sampling, and analysis of a good and a poor field or a good and poor area

in the same field. The following are the steps involved in the search :

1. The morphological examination of the profile, down to the C horizon and sometimes, even deeper, is the first step in the search for a diagnosis of soil "ailments".

2. Information by the operator on soil management and cultural practices frequently furnishes important clues to the reason behind the trouble plaguing the soil.

3. The dispersion and color of the soil-water extract, the rate of filtration, and the turbidity and color of the filtrate of this extract reflect the physical condition of the soil.

4. A pH determination of the profile may tell the story of the physical and chemical conditions of the soil responsible for the troubles experienced.

5. Conductivity is one of the most important single-value test that offers general evidence on the chemical and physico chemical condition of the soil in relation to plant growth. By themselves, however, conductivity data may be misleading.

6. Test for the anions, chloride, sulfate, and nitrate, and a test for ammonia reveal the status of the nutrient condition of the soil. These tests together with conductivity data clinch the final diagnosis of the soil's condition.

The approach to trouble shooting, as outlined, is especially adapted to soils devoted to intensive cropping, such as truck gardening, and in general to soils heavily fertilized. This approach gives very illuminating information on the condition of the soil in greenhouse benches (in these cases, samples are taken at 2-inch intervals through the entire depth of the bench) and pot cultures, i. e., for plants grown in pots permanently or temporarily until transferred to the soil in the open. This approach also gives much more information than any other in use for tracing troubles in field crops, orchards, meadows, and pastures.

Conclusion.

The system of trouble shooting and the reasoning advanced, as presented in the foregoing pages, cannot and do not pretend to answer all the questions raised by farmers with reference to poor conditions of crops in the different soil zones. Essentially this system has been worked out for and applied to problems of crops in soils of the zones of podzolization and laterization. The basic principle of the system of trouble shooting, however, stems from the inherent properties of the constitution of the soil body, the soil profile. With slight modifications, these tests and procedures may be applied to any other soil zone with good chances for success.

In a nutshell : an appreciation of the physical, chemical, and biological makeup of the profile is a prerequisite for the skillful use of the system of soil trouble shooting, as discussed in this paper. Aided by a few simple test, intelligently interpreted in the light of available information, one can generally find a satisfactory answer to the many queries perplexing the farmer, the landscaper, the gardener, the forester, or others working the land.

SOIL CONDITIONS AND MINERAL DEFICIENCIES OF PLANTS, WITH SPECIAL REFERENCE TO DEFICIENCIES OF THE TRACE ELEMENTS IRON, MANGANESE, BORON, ZINC, COPPER AND MOLYBDENUM

By Professor T. WALLACE.

Long Ashton Research Station, University of Bristol, England.

In considering the part which soil conditions play in problems of mineral deficiencies of plants it is important, before passing to the detailed discussion of soil factors, to remind ourselves of the various factors which may determine the incidence of mineral deficiencies in crops under conditions of farming practice.

The important factors which operate in producing mineral deficiencies in crops may be grouped under the headings of geochemistry, pedology, the special mineral requirements of individual crops and farming systems.

GEOCHEMISTRY. — V.-M. GOLDSCHMIDT (1) has outlined the principles which determine the distribution and mode of occurrence of the various elements in crystalline rocks and in sediments. In the crystallization of minerals from magmas he has shown the determining role of ionic radii, and in the formation of sediments the importance of ionic potential, together with the deformability and polarisability of ions which influence ionic adsorption. His results relating to the concentration of rare elements in organic materials, such as in coal and forest humus, and in sea water, have a special importance in relation to soil problems of deficiencies of trace elements.

PEDOLOGY. — The processes concerned in pedology, which are our special interest to-day, are very complex but certain factors can be distinguished as of particular importance in determining both the total supply of minerals in the soil and their availability to crops.

Climatic factors, particularly rainfall and temperature, greatly influence the direction of water movement in the soil, which is of fundamental importance in determining whether soils are acid through leaching and poor in base status, calcareous or « alkali » in character.

The natural flora also plays an important role due to the differences in feeding powers of plants, with resultant differences in plant composi-

tion and the resultant organic matter, and in this connection accumulator plants may be of special importance for trace elements (1) since for these the organic matter may be the important source of supply.

Factors of outstanding importance in controlling the availability of mineral nutrients in soils are pH, relationships between particular nutrients (including antagonisms, beneficial effects and toxicities), organic matter, soil organisms, water content and supplies of oxygen and carbon dioxide.

On acid soils with low pH values, the basic elements, calcium, magnesium, potassium and sodium, may all be at deficiency levels and in addition phosphorus and nitrogen are generally deficient, whilst toxicities of manganese, aluminium and iron (particularly manganese) may occur (3, 4, 5, 6). The high manganese level in acid soils may also induce iron deficiency. The particular deficiency problems which arise in any instance will often depend on the manurial treatments given and on the crops grown, as is well illustrated in the following experiments with potatoes on a health soil where a number of manurial treatments were given, and with a number of crops on an overlimed podsol, where a uniform dressing of nitrogen, phosphate and potash was given to all crops.

TABLEAU

(1) Experiments in collaboration with W.-M. Davies.

TABLE I.

POTATO EXPERIMENT ON POOR ACID SOIL

Diagram showing Layout on Plots, Liming and Fertiliser Treatments.

Vigour Markings and Deficiency Symptoms recorded 24/7/46.

GROUND LIMESTONE TREATMENTS, 1944	3 tons Lime 1/2 on Surface 1/2 under	3 Nil	4 —Mg	—Mg 4 —N	5 —P	—P 3 —Mg	4 Nil	—N 3 +Mn	3 Nil
	No Lime	3 Nil	—Ca 4 —Mg +Mn	—Ca 4 —Mg	3 —P	2 —P	—Ca 3 —K +Mn	—Ca 3 —K +Mn	—Ca 3 —Mg
	3 tons Lime on, Surface	2 Nil	4 —Mg	—Mg 4 —N	—P 3 —Mg	—Mg 3 —P	4 —K	3 —K	3 Nil
	3 tons Lime Ploughed under	1 Nil	—Mg 5 +Mn	4 —Mg	—Mg 4 —P	3 —P	4 —K	3 —K	3 Nil
	No Lime	1 Nil	—Ca 2 —Mg +Mn	—Mg 1 —N	—Ca 2 —P +Mn	—Ca 1 —P —Mg	—K 3 +Mn —Mg	2 —K	1 —K
	9 tons Lime 1/2 on Surface 1/2 Under	1 Nil	4 —Mg	3 —Mg	—P 3 —Mg	2 —Mg	2 —K	2 —K	2 K
	9 tons Lime on Surface	2 Nil	6 —Mg	5 —Mg	3 —P	—P 4 —Mg —N	4 —K	2 —K	1 —Mg
	No Lime	—Ca 1 —Mg	3 —Mg	2 —Mg	—Ca 1 —P	—Ca 1 —P	—Ca 3 —K —Mg +Mn	Failure	—K 1 +Mn
	9 tons Lime Ploughed under	2 —Mg	6 —Mg	5 —Mg	4 —Mg —P	—Mg 3 —P	4 —K	2 —K	1 —K
		9	10	11	12	13	14	15	16
	No Lime	1 —Ca	—Ca 2 —Mg +Mn	—Ca 2 —Mg +Mn	—Ca 3 +Mn	—Ca 2 —Mg +Mn	—K 3 +Mn	—K 3 +Mn	—K 1 +Mn
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Nil	N. P. K.	P. K.	N. K.	K.	N. P.	P.	Nil

TABLE II

*Deficiency Symptoms on Overlimed Podsol at Chetwynd.
Firs.*

(All crops received N. P. K. fertiliser.)

CROP	DEFICIENCIES SHOWN
Potato	Manganese; magnesium.
Sugar beet	Boron; manganese.
Mangold.	Boron; manganese.
Swede	Boron; magnesium.
Turnip	Boron; magnesium.
Cauliflower. . . .	Magnesium.
Cabbage.	Magnesium.
Parsnip	Manganese.
Carrot	Nil.
Celery.	Boron.
Flax	Magnesium.
Oats	Manganese.

Soil pH is an important factor in the availability of all trace elements; availability, with the exception of molybdenum, is low at high pH values and under such conditions deficiencies of iron and manganese in particular are common.

Soils of high pH fall into the two categories of calcareous and « alkali » soils. In the former, calcium exerts dominant effects among the basic elements and potassium deficiency is a common problem, as in clearly shown on the Chalk soils of England. On alkali soils, on the other hand, calcium and magnesium are likely to be deficient (7).

Various relationships have been noted among the mineral nutrients (including both major and trace elements) among which may be mentioned the following as of importance in field problems : high nitrogen, calcium, magnesium or phosphorus producing potassium deficiency; high potassium increasing and high nitrogen decreasing magnesium deficiency; high calcium decreasing manganese toxicity; high copper, manganese or zinc and low potassium increasing iron deficiency; and high phosphorus inducing zinc deficiency.

The effects of organic matter and soil organisms are best considered together, since their reactions are interdependent. Together they may be regarded as having the general effect of conserving supplies of mineral nutrients and of « regulating » their availability. These effects are of particular importance for the trace elements. Thus the organic matter may be an important source of supply of boron (8) and zinc (10) in many soils and this may be true also for molybdenum (11) and for manganese

in forest podsoils (12). With copper and zinc organic matter may reduce the availability to extents creating serious deficiency problems (14, 15), and for manganese (16, 17), zinc (15) and copper (14) the action of soil organisms has been demonstrated to be an important factor in reduced availability. On the other hand, the increased availability of iron to fruit trees has been observed with increase in organic matter, by establishing a grass cover (18), though the mechanism involved is unknown.

Deficiencies may result from extremes of water content of the soil. Boron is an outstanding example of a deficiency accentuated by dry conditions and there is evidence that this may also apply to copper. Wet conditions, associated with excessive leaching of nutrients, may result in marked deficiencies of nitrogen and magnesium.

Waterlogged conditions involve the complex of high water content, low oxygen supply and high content of carbon dioxide with conditions favouring reduction products. In these circumstances the intake of nutrients may be greatly reduced and it has been shown that the decreased intakes of major nutrients may be in the order $K > N > P > Ca > Mg$ (19), which accords with the observed prevalence of potassium deficiency in poorly drained soils. In contrast the availability of manganese may be increased by waterlogging (20) and it has been shown that this condition also favours the production of ferrous iron (20, 21).

SPECIAL MINERAL REQUIREMENTS OF PLANTS. — The special requirements of particular crops for the common nutrients nitrogen, phosphorus and potassium are well known and are recognised in the special manurial treatments given to crops. A similar position exists in relation to trace elements and it is now possible to compile lists of crop plants susceptible to deficiencies of each of the mineral nutrients. Knowledge of the special susceptibilities of crops to various mineral deficiencies forms the basis of diagnostic methods utilising indicator crops (73).

TABLE III.

Indicator Plants for various mineral deficiencies.

GROUP Number	INDICATOR PLANTS which may be used	MINERAL DEFICIENCIES INDICATED
1	Marrow-stem kale, cauliflower, broccoli.	<i>Nitrogen, Calcium, Magnesium, Iron, Phosphorus, Potassium, Boron.</i>
2	Potato.	<i>Potassium, Magnesium, Phosphorus, Manganese.</i>
3	Sugar beet, mangold, globe beet.	<i>Boron, Manganese.</i>
4	Rape, Swede.	<i>Phosphorus, Nitrogen, Calcium, Magnesium, Boron (swede only).</i>
5	Oats.	<i>Manganese.</i>

FARMING SYSTEMS. — In all countries of the world the necessity for crop rotations to maintain soil fertility has been demonstrated, and in many areas decreased fertility without well planned rotations has been shown to be associated with deficiencies of mineral nutrients. Moreover, specialist cropping systems, such as in fruit culture and vegetable growing, produce special problems of mineral deficiencies, depending partly on the particular requirements of the crops and partly on the special cultural methods which they require. In fruit growing, in particular, the trace elements have proved of great importance and deficiencies of them are widespread. Thus iron deficiency, which is rare in farm crops, is a serious problem in most fruit growing areas of the world; boron deficiency is widespread, in apples in particular; zinc deficiency occurs wherever Citrus crops are grown; manganese deficiency is prevalent in most of the important fruit growing areas; and copper deficiency is a serious problem in several fruit regions.

SOIL CONDITIONS CONDUCTIVE TO DEFICIENCIES OF TRACE ELEMENTS IRON. — Investigations on iron deficiency of plants have shown that the problem is a very complex one in which both factors external to the plant and within the plant are concerned, and it is not always clear whether the actual deficiency arises in the soil or in the plant tissues.

The problem may be grouped under four headings on the basis of causal factors viz. :

- a. Simple deficiency of iron, where the total supply of iron is inadequate.
- b. Lime-induced chlorosis occurring on calcareous soils.
- c. Deficiency resulting from excesses of other mineral elements.
- d. Deficiency resulting from deficiencies of other elements.

Simple Deficiency. It is doubtful whether the conditions under *a.* ever occur in the field owing to the prevalence of iron in all rocks and soils.

Lime-induced Chlorosis. — By far the most common and most serious problem is that of *b.* lime-induced chlorosis, so much so that in practice the two terms lime-induced chlorosis and iron deficiency are often regarded as synonymous. The causal soil factors concerned in lime-induced chlorosis are by no means clear. The condition results on calcareous soils of relatively high pH containing free calcium carbonate (sometimes also magnesium carbonate) and it is assumed that these compounds reduce the availability of the soil iron to inadequate amounts for the plants. But the degree of deficiency does not show a close relationship to the amounts of carbonates present in the soil and hence it is necessary to examine other factors.

Thorne and Wallace (22) have sought to explain differences in avai-

lability on the basis of the amounts of reducible iron in the soil, using N. ammonium acetate and 0.2 % hydroquinone at pH 5.0. They found larger amounts of reducible iron in soils producing non-chlorotic trees. Thus they stress the importance of ferrous iron availability. They also showed that Fe^{++} added to soils on chlorotic areas was immobilised more quickly than on "non-chlorotic" soils.

DROUINEAU (23) has approached the problem from the viewpoint of the fineness of division of the calcium carbonate in the soil, using 0.02 N. ammonium oxalate as a distinguishing solvent. The work of DEMOLON and BASTISSE (24) provides a further method of considering the problem of iron mobility in soils conducive to chlorosis. The effect of the physical condition of iron compounds in relation to availability has been examined by CHAPMAN (25) and GUEST (26) in experiments using finely ground magnetite as the source of available iron. Limeinduced chlorosis in fruit trees may often be greatly decreased or cured by growing a grass sward over the roots but again the mechanism is not clear (18).

The ratio Mn/Fe does not appear to be an important factor in lime-induced chlorosis since the ratio is often increased in leaves on conversion from chlorotic to green, and on comparable soils manganese may be much higher on non-chlorotic areas and the ratios for both wide (22, 27).

Many workers have shown the greater prevalence of chlorosis associated with high soil moisture and early spring or winter conditions, and Bennett (74) has suggested that a high availability of soil iron at an early stage of growth is a critical factor.

Although high moisture content has been shown to increase chlorosis, Ignatieff (22) has shown that waterlogging results in high amounts of soluble ferrous iron in soils; he also obtained an increase by steam sterilisation.

A point of great interest in lime-induced chlorosis is the high K/Ca ratio in chlorotic leaves, due chiefly to increased K content (27). This led Lindner and Harley (28) to suggest high K in chlorotic leaves as causing chlorosis by displacing Fe in the chlorophyll enzyme. The high K content and high K/Ca, however, are unlikely to be causal since true lime-induced chlorosis may occur in fruit trees also showing severe potash deficiency in the older, non-chlorotic leaves.

Mineral Toxicities. — The most important mineral toxicities causing iron deficiency in soils are phosphorus, manganese, zinc and copper. Somers and Shive have also reported an instance of induced iron deficiency in a culture solution from adding cobalt (29) so that the above list should not be regarded as complete.

The instances concerning phosphorus (27) have related to neutral or slightly alkaline soils, which results agree with those obtained in culture solution experiments, and it has been shown that the action of phosphorus, whether favourable or harmful, may depend on its effect on availability of iron, according to whether the soil reaction is acid or alkaline (30).

Whilst it appears that ratio Mn/Fe is not a material factor in instances of lime-induced chlorosis it would seem more likely to be of importance on acid soils in view of many instances of manganese toxicity recorded on strongly acid soils and the large increases of manganese and the comparatively small increases in iron which occur with increased acidity. In spite of this proved cases of induced iron deficiency from this cause appear to be very few, the two most notable both relating to pineapple (31, 32).

Zinc appears to induce iron deficiency in soils much more readily than manganese. The effects are again more pronounced under acid conditions (33, 34) and may be prevented in some circumstances by liming (34). Striking instances, however, occur in Somerset, England, on calcareous soils derived from Dolomitic Conglomerate rock, in which soils zinc may be present to the extent of 0.2 % in the surface soil. The chlorotic condition precludes the use of the soils for ordinary farm crops, including grain crops, and the composition of the plants suggests that the zinc immobilizes the iron within the plant.

TABLE IV

*Iron deficiency induced by zinc.
Analysis of Young Plants (data of D. J. D. Nicholas).*

CROP	HEALTHY		CHLOROTIC	
	Iron p. p. m.	Zinc p. p. m.	Iron p. p. m.	Zinc p. p. m.
Wheat	140	20	500	370
Oats	150	10	930	560

The addition of excessive amounts of copper to culture solutions may result in iron deficiency (35) and Odelien (36) has induced iron deficiency by dressings of copper-containing materials on a sphagnum peat soil initially deficient in copper. He showed that the iron deficiency occurred in the soil. Results with copper suggest that the ele-

ment is concerned in oxidation reactions which affect iron and manganese.

Mineral Deficiencies. — Chlorotic conditions, which can be cured by treating plants with an iron solution, often occur in culture solution experiments where deficiency treatments are applied, notably potassium omission, but also calcium and magnesium, and Hoffer (37) and others have demonstrated the precipitation of iron at the nodes of plants where potassium is deficient in crops in the field.

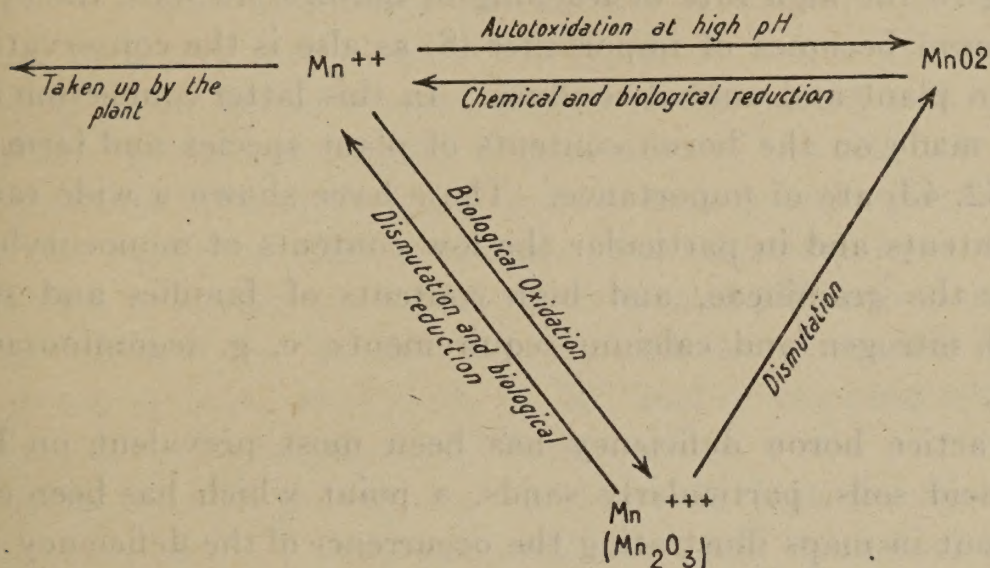
In these instances there is no evidence to show that the iron deficiency originates in the soil.

MANGANESE. — Manganese is widely distributed in rocks, though mainly in highly insoluble minerals such as ferro magnesian and other complex silicates, not likely readily to furnish available manganese for plants. The important forms in soils are replaceable divalent manganese and manganese dioxide. The main problem of manganese supply to plants, however, appears generally to be one of availability and not of total manganese content, although the latter may be of importance in strongly leached podsoils (12). The two outstanding factors determining availability are pH and the oxidation/reduction conditions, the latter being in many circumstances dependent on the former. There seems general agreement that only the manganous form is used by plants and that this is present in the exchange complex.

A striking feature in manganese nutrition is the wide range of the element in plants, values for leaves ranging from less than 10 p. p. m. in acutely deficient plants to over 11,000 p. p. m. in some cases of toxicity. pH and conditions of aeration are the main factors determining the equilibrium between Mn (ous) and Mn (ic) forms. As regards pH, values around 6.0 to 6.5 appear critical, below favouring reduction and above oxidation; aeration, in practice, is associated with water content of the soil, waterlogged conditions providing ideal conditions for reduction even when pH is high. There is still some divergence in views as to the relative importance of purely chemical and biological factors in regulating oxidation reduction processes (12, 16, 17), though the evidence of Quastel and Gerritsen for the latter furnish convincing proof of their importance. Both Quastel and Gerritsen have demonstrated the oxidising effects of organisms over the range of approximately pH 6.0 to 7.9, and Quastel believes that organisms are mainly responsible for oxidation from pH 6.0—7.0 and that nonbiological oxidation is only marked above pH 8.0. He also points out that organisms are also responsible for reduction reactions, especially under anaerobic conditions, and that tervalent manganese is unstable under acid conditions.

He represents the Mn cycle in soils under aerobic conditions as follows :

THE MANGANESE CYCLE IN SOIL UNDER AEROBIC CONDITIONS
(after Quastel).



In practice it has been shown that manganese deficiency in crops is associated with well defined soil conditions, important factors being high pH (above 6.0—6.5), high content of organic matter and often a high water table.

The main conditions are as follows :

Alkaline peats and peats overlying calcareous subsoils; calcareous silt clays with high water tables; calcareous soils with impeded drainage; over-limed podsols; eroded podsols with loss of humus layer; burnt-over organic soils; over-limed old garden soils.

Under strongly acid conditions manganese reaches toxic levels in many soils and has been shown to be an important factor in the injurious soil acidity complex (3, 4, 5, 6). It may also produce toxic effects in freshly steamed soils (38).

The relations of manganese to other nutrients in soils have not been widely investigated, although the importance of the Fe/Mn ratio has been demonstrated (29), and of Cu/Mn (14, 36) and Ca/Mn (3) suggested.

BORON. — In considering problems of boron supply in soils it is necessary to consider the total boron content and the forms in which the element is present. From the work Goldschmidt and Peters (39) it has been established that boron may occur in rocks and soils either in the form of the resistant mineral tourmaline, which is widely distributed and appears of little value to plants, or in forms accumulated in marine sediments or concentrated by plant residues. Thus the boron present

in igneous rocks and sandstones is of little value to plants, whilst that in shales and clays of marine origin and in organic matter is likely to be more readily available. A point to be stressed is the ready leachability of these more available forms of boron, which is reflected in the high concentration of the element in sea water (4.5 p. p. m.) and the high content of marine sediments.

Owing to the high rate of leaching of boron from soils, the cycle of mobile boron becomes of importance (8) as also is the conservation of supplies in plant and animal residues. In this latter connection investigations made on the boron contents of plant species and farm crops (40, 41, 42, 43) are of importance. These have shown a wide range of boron contents and in particular the low contents of monocotyledons, especially the gramineae, and high contents of families and species with high nitrogen and calcium requirements, e. g. leguminosae and brassicae.

In practice boron deficiency has been most prevalent on highly leached acid soils, particularly sands, a point which has been clearly brought out in maps illustrating the occurrence of the deficiency in the U. S. A. (44, 45), though the deficiency has been reported on a wide range of soils types.

Factors in the availability of boron which have been stressed are leaching, organic matter content, texture, moisture content, lime application and relation to other nutrients, especially calcium, potassium, nitrogen and phosphorus. The investigation of KRUGEL *et al* (46), ASKEW *et al* (47) and REEVE *et al* (48) may be cited in illustration of the rapid leaching of boron added to the soil, and their results require little comment other than to stress the importance of conservation and care in applying fertiliser dressings. Organic matter and texture are important, since the supplies of available boron appear to consist almost wholly of the element contained in the organic matter and the fine soil fractions (8, 48) which offer considerable protection against leaching (48). It has been general experience that boron deficiency is greatly accentuated by drought conditions though the mechanism involved has not been determined. There is evidence, however, that the boron content of plants is higher in wet than in dry seasons (49).

The action of lime in decreasing the availability of boron seems to be due to calcium rather than to pH although the latter may also play some part (48, 50).

Investigations relating to the effect of other nutrients on the availability of boron have shown that the problems are complex. Calcium seems generally to decrease boron intake and potassium appears to be harmful at low levels of boron; high nitrogen conditions may also accentuate boron deficiency whilst results for phosphorus are conflict-

ing (51, 52). White-Stevens (53) has pointed out that the boron relationships where several other elements are concerned may be very complicated.

Purvis (44) has reported the effect on the incidence of boron deficiency of correcting other deficiencies which occurred simultaneously, viz. copper, manganese and magnesium.

ZINC. — Zinc deficiency, particularly in Citrus, has been shown to occur on a very wide range of soil types, varying in pH from 4.0-8.5. (9). Whilst the actual content of zinc in the parent rock may be of importance in determining the zinc content of the soil, the particular soil conditions themselves appear to be of greater importance in determining the supply of zinc to plants. Investigations have shown the importance of organic matter, clay content and pH in the accumulation and retention of zinc in soils, (54, 55) and also of natural weed cover as a means of accumulation (9, 10, 56), and of cropping systems as a means of accentuating losses from the soil (9).

Acid sands and gravels and alkaline soils high in organic matter appear most liable to show zinc deficiency, and the causes in the two cases are generally different. Total zinc in the former is usually less than in the latter, but availability is higher and there is greater loss due to leaching and cultivation. In the latter, on the other hand, the total zinc content is generally adequate and low availability is the critical factor. This point is well illustrated by the data of Alben and Boggs (57) and the instances of zinc deficiency which occur in the corrals in California (15).

The strong fixing powers of soils of high pH for zinc and the necessity of strongly acid conditions to leach the element have been demonstrated by PEECH (58), HIBBARD (10) and LYMAN and DEAN (59) who have all found that solvents with low pH are necessary to extract zinc from soils.

The extent to which soil organisms render zinc unavailable has not yet been determined but it has been shown that two strains of bacteria from zinc deficient soils caused symptoms of zinc deficiency to appear (15).

Zinc deficiency has been shown to occur under wide ranges of nitrogen, phosphorus, calcium and magnesium (9), but it has been pointed out that a deficiency of the element is often masked by low levels or deficiencies of other elements. The only element which has been clearly shown to induce a deficiency of zinc is phosphorus, mainly in Citrus (60, 61, 62) but also in flax (63).

COPPER. — Copper deficiency has been shown to be an important problem for many crops in several countries on organic soils and poor

sands and gravels, and for the most part the affected soils are acid (13), though highly calcareous sands, containing up to 80 % CaCO_3 , are included among the deficient soils in Australia (64, 65).

Among the organic soils many peats and muck soils are affected in U. S. A., but perhaps the most characteristic conditions are those provided by recently reclaimed heather moors in Europe which give rise to the well known "reclamation disease" (14, 66). These soils in their extreme form show a surface layer of black heather humus over bleached sand; they lie wet in winter and dry out in summer. The deficiency is also prevalent on moors where the surface peat has been removed and on over-drained peat bogs (66). In Florida the deficiency occurs on many soil types in Citrus areas, but is most prevalent on acid soils under clean cultivation (13).

In Australia, the main types have been listed by RICE MAN and PIPER (64, 65) : they comprise coastal dunes of calcareous sands (pH to 8.0); soils from weathered calcareous rock or shell sands (soils may be slightly acid); Mallee Heath soils and soils from Mallee areas, usually very impoverished and naturally infertile; soils of lateritic and solonetz types; and many acid sands and gravels.

In South Africa, the deficiency has been associated with poor sands and sandy loams, always acid (pH 5.5—6.5), with poor drainage and variable humus content and said to be naturally infertile (71).

Data for total copper in soils are not so comprehensive as for zinc but there is evidence that an absolute copper deficiency may occur in some soils (54, 65).

Many workers have stressed the importance of copper fixation in soils (13, 14, 67), particularly in relation to organic matter, a point which becomes evident when dressings recommended to remedy the deficiency in different soils are considered. Thus in some peats in U. S. A. dressings of copper sulphate as high as 250 lb. per acre have been given without producing toxic effects; in Holland, on heath soils, the usual dressings range from 50-100 lb. copper sulphate per acre; and on the sandy soils in S. Australia dressings may be as low as 5 lb. copper sulphate per acre and dressings from 5-15 lb. are usual, higher rates resulting in toxic effects. Holmes (54) has also shown the fixing and concentration of copper in organic and clay layers of profiles.

The extent to which organisms are concerned in fixing copper has not been clearly determined but Mulder has shown that sulphur-oxidising bacteria may cause fixation, possibly by the formation of insoluble copper sulphide (14).

pH has important effects on copper availability and retention in soils, solubility increasing with acidity. PEECH (58) showed that copper required even more strongly acid conditions than zinc for com-

plete leaching, in a sandy soil only 40 % of the copper being leached at pH 3.0 as against the complete leaching of zinc. PIPER (65) also showed that, by decreasing the pH of a soil from 8.6 to 4.0, the copper intake by plants was increased from 1.82 to 2.34 whereas manganese intake increased from 41 to 490. The availability of copper in soils may also be increased by steam treatment, though again the effect is much less than for manganese (20), and by treatment with alcohol, acetone or sulphate of ammonia (14). Whilst copper deficiency has been noted to be accentuated by dry conditions, PIPER (65) was unable to obtain any differences in copper intake by varying the moisture conditions of a soil.

Relations have been noted between copper and three elements, iron (36), manganese (14, 35, 36) and aluminium (68). In neutral and alkaline peats copper may bring about deficiencies of iron and manganese, whilst aluminium may reduce the toxic effects of an excess of copper. In this latter instance the de-toxicating action appears to take place in the roots of the plant and not in the soil (68).

MOLYBDENUM. — TER MEULEN (11) has shown the wide distribution of molybdenum in plants, animals and soils, and has pointed out the relatively high concentrations which occur in mineral oils and in coal ashes. He also showed that soils and plants differ greatly in their molybdenum content, high amounts being present in legumes. Values for fertile soils ranged from 0.1 to 0.3 mgm. per kilo, whilst moor soils contained 0.01 mgm. and barren sandy waste 0.005 mgm. per kilo. BERTRAND (69) has also reported variations in the Mo content of plants and his data confirm the high values for legumes as do also those of FERGUSON *et al* (70)

TER MEULEN demonstrated the concentration of molybdenum in the tissues of the aquatic, *Azolla*, growing in canal water in Holland.

KNOWLEDGE of the importance of molybdenum in farming practice has only been obtained recently and hence generalisations on soil relationships cannot be made. Deficiencies have only been reported for pasture plants and peas, involving legumes in all instances, in which the critical problems may relate to the supply of molybdenum for nodule formation (71, 72). The soils concerned have been acid shaley loams poor in phosphorus.

In certain calcareous clay soils in England, derived from the Lower Lias formation, the high molybdenum content of pasture herbage is toxic to cattle and sheep (70). In these soils high molybdenum content of the parent material and high pH have been shown to be important in determining high contents of the element in the herbage.

Summary.

The important factors which operate in producing mineral deficiencies in crops may be grouped under the headings of geochemistry, pedology, the special mineral requirements of individual crops and farming systems.

The geochemical processes determine the nature of the parent rocks, the mode of formation, structure and composition of which may exert profound effects on both the total and available supplies of mineral nutrients in the soils formed on them.

The processes concerned in pedology are very complex, but certain features can be distinguished as of special importance in determining the mineral status of the resultant soils. Climatic factors, particularly rainfall and temperature, determine the predominance of the direction of water movement in the soil, which is of fundamental importance in determining whether soils are acid (through leaching) calcareous or "alkali" in character.

The natural flora also plays an important rôle, due to differences in the composition and selective feeding powers of various plants, and in this connexion accumulator plants may be of special importance.

Factors of particular importance in controlling the availability of mineral nutrients in soils are pH, relationships between nutrients (including antagonisms, beneficial effects and toxicities), organic matter, soil organisms, water content and oxygen and carbon dioxide contents.

On soils of low pH, the basic elements, calcium, magnesium, potassium and sodium, may all be at deficiency levels, and in addition nitrogen and phosphorus are generally deficient, whilst toxicities of manganese and aluminium (especially manganese) may occur. The particular problems which arise in any instance will often depend on the crop and the manurial treatment given.

The availability of all trace elements, with the exception of molybdenum, is depressed by high pH values, and where pH is high trace element deficiencies are likely to occur.

On calcareous soils calcium exerts dominant effects among the basic elements and potassium deficiency is a common problem. On alkali soils, on the other hand, the deficiencies are likely to be those of calcium and magnesium.

Organic matter and soil organisms may be regarded as conserving nutrient supplies in soils and as "regulating" their availability. The ultimate result of the latter property may be a deficiency. Examples of such deficiencies are provided by manganese, zinc and copper.

Deficiencies may result from extremes of water content in the soil.

Boron and sodium are outstanding examples of deficiencies accentuated by dry soil conditions; wet conditions, associated with excessive leaching of nutrients, may result in marked deficiencies of nitrogen and magnesium; waterlogged conditions involve the complex of high water content, low oxygen supply and high content of carbon dioxide, with conditions favouring reduction products.

The special requirements of particular crops for the common nutrients, nitrogen, phosphorus and potassium, are well known and are recognised in the special manurial treatments which are given. Similar wide differences for other nutrients are shown, and this is also true of toxicities.

The effects of diverse farming systems and cultural methods may be seen in comparing the problems which occur under contrasting systems, such as between predominantly grass and arable farms, and in specialised fruit and vegetable holdings. Points requiring particular attention in any farming systems are the nutrient relations between crops grown in rotation and between mixed crops where these are grown e. g. fruit crops with cover crops. Trace element problems are of special importance in fruit culture.

SOIL CONDITIONS CONDUCTIVE TO DEFICIENCIES OF TRACE ELEMENTS.
— Iron deficiency occurs most frequently as “lime-induced” chlorosis on calcareous soils, but may result from deficiencies and excesses of other mineral nutrients.

Deficiencies appear to arise invariably from lack of availability of iron in the soil or from its immobility within the plant tissues.

Manganese deficiency is also associated with high pH values (above 6.0—6.5); organic matter is usually high and frequently there is a high water table. It often occurs on overlimed podsoils. Soil organisms may play an important part in rendering manganese deficient over the range pH 6.0—7.8.

The availabilities of iron and manganese in soils appear to be largely determined by oxidation/reduction conditions.

Both total supply and conditions affecting availability are of importance in determining the boron supplying powers of soils. Supplies are generally poor in soils derived from crystalline rocks and are usually good in soils formed from marine sediments. Deficiencies are most prevalent on highly leached sandy soils, but may occur on a wide variety of soils when susceptible crops are grown. Organic matter and clay contents are important in preventing leaching of boron. Availability is decreased by dry conditions and by liming.

Deficiencies of zinc occur over a wide range of pH (from 4.0—8.5 have been recorded). On acid soils total zinc content is an important

factor, and on neutral and alkaline soils "availability" is the critical problem. Zinc is strongly fixed by both organic matter and clay and is only completely leached from soils when the reaction is strongly acid. High phosphate may induce zinc deficiency.

Copper deficiency is most common on organic soils, particularly on newly ploughed heather moor soils, but also occurs on many poor sands and gravels. Most affected soils are acid, but highly calcareous sands are concerned in Australia.

On soils high in organic matter copper is strongly fixed and soil organisms may be partly responsible.

The availability of both zinc and copper is reduced by liming. Molybdenum deficiency has so far only been recorded in the field in herbage crops and in peas, legumes being concerned in all instances, and it is not clear whether the deficiency is directly concerned with the needs of the plants or with the nodule organisms on the roots. It has been shown that both total supply and availability may be of importance in determining the molybdenum content of herbage plants. Availability is increased by liming.

References.

1. GOLDSCHMIDT, V.-M. (1937). — J. Chem. Soc., London, 655.
2. ROBINSON, W.-O. and EDGINGTON, G. (1945). — Soil Sc., 60, 15.
3. WALLACE, T., HEWITT, E.-J., NICHOLAS, D.-J.-D. (1945). — Nature, 156, 778.
4. HALE, J.-B. and HEINTZE, S.-G. (1946). — Nature 157, 554.
5. BORTNER, C.-E. (1935). — Soil Sc. 30, 15.
6. KIRSANOV, A.-T. (1940). — Trans. Dokuchaev. Inst. 21, 7.
7. BOWER, C.-A. and TURK, L.-M. (1946). — J. Amer. Soc. Agron. 38, 723.
8. WHETSTONE, R.-R., ROBINSON, W.-O. and BYERS, H.-G. (1942). — U. S. D. A. Tech Bull. 797.
9. CAMP, A.-F. (1945). — Soil Sc. 60, 157.
10. HIBBERT, P.-L. (1940). — Soil Sc. 49, 63 and 50, 53.
11. TER MEULEN, H. (1932). — Nature 130, 966.
12. SHERMAN, G.-D. (1943) et (1944). — Commercial Fertilizer Dec. and Jan.
13. SOMMER, A.-L. (1945). — Soil Sc. 60, 71.
14. MULDER, E.-G. (1940). — Zeitsch. für Pflanzenkr. und Pflanzensch. 50, 230.
15. CHANDLER, W.-H. (1937). — Bot. Gaz. 98, 625.
16. QUASTEL, J.-H. (1946). — Lecture R. Inst. Chem. Gt. Brit.
17. GERRETSEN, F.-C. (1937). — Ann. Bot. 1, 207.
18. WALLACE, T. (1929). — J. Pomol. 7, 251.
19. CHANG, H.-T. and LOOMIS, W.-E. (1945). — Plant. Phys. 20, 221.
20. PIPER, C.-S. (1931). — J. Agr. Sci. 21, 762.
21. IGNATIEFF, V. (1941). — Soil Sc. 51, 249.
22. THORNE, D.-W. and WALLACE, A. (1944). — Soil Sc. 57, 299.
23. DROUINEAU, G. (1943). — Ann. Agron. 13, 16.
24. DEMOLON, A. and BASTISSE, E. (1944). — Ann. Agron. 14, 265 and C. R. Acad. Agr., 30, 501.
25. CHAPMAN, H.-D. (1939). — Soil Sc. 48, 309.

26. GUEST, P. (1944). — *Proc. Amer. Soc. Hort. Sc.* 44, 43.
27. WALLACE, T. and HEWITT, E.-H. (1946). — *J. Pomol.* 22, 153.
28. LINDNER, R.-C. and HARLEY, C.-P. (1944). — *Plant Phys.*, 19, 420.
29. SOMERS, J.-J. and SHIVE, J.-W. (1942). — *Plant Phys.* 17, 582.
30. SIDERIS, C.-P. and KRAUS, A.-H. (1933). — *Soil Sc.* 37, 85.
31. JOHNSON, M.-O. (1944). — *Hawaii Expt. Stn. Bull.* No. 52.
32. HOPKINS, E.-F., PAGAN, V., RAMIREZ SILVA, F.-J. (1944). — *J. Agr., Univ. Puerto Rico* 28, 43.
33. WALSH, T. and CLARKE, E.-J. (1945). — *Proc. Roy. Irish Acad. Sect. B.*, 359.
34. KNOWLES, F. (1945). — *Agr. Prog.* 20, 16.
35. WILLIS, L.-G. and PILAND, J.-R. (1936). — *J. Agr. Res.* 52, 467.
36. ODELIEN, M. (1945). — *Tidschr. Norske Landbr.* nos. 3-4.
37. HOFFER, G.-N. (1930). — *Purdue Univ. Agr. Expt. Stn. Bull.* No. 298 (Revised).
38. Mc COOL, M.-M. (1934). — *Contr. from Boyce Thompson Inst.* 6, 147.
39. GOLDSCHMIDT, V.-M. and PETERS, C.-L. (1932). — *Gesell. der Wiss. zu Göttingen, Math, Phys. Kl. Nach.* 5, 402 and 528.
40. EATON, F.-M. (1944). — *J. Agr. Res.* 69, 237.
41. ROBINSON, W.-O. and EDGINGTON, G. (1942). — *Soil Sc.* 53, 309.
42. BERTRAND, G. (1941). — *Ann. Agron.* 11, 1.
43. Mc HARGUE, J.-S., HODGKINS, W.-S. and OFFUTT, E.-B. (1940). — *J. Amer. Soc. Agron.* 32, 622.
44. PURVIS, E.-R. (1939). *P. Soil Sc. Soc. Amer.* 4, 316.
45. BEESON, K.-C. (1945). — *Soil Sc.* 60, 9.
46. KRUGEL, C., DREYSPRING, C., and LOTTHAMMER, R. (1937). — *Superphosphate*, 13, 99.
47. ASKEW, H.-O., CHITTENDEN, E. and THOMSON, R.-H.-K. (1936). — *New Zealand J. of Sc. and Tech.* 18, 366.
48. REEVE, E., PRINCE, A.-L. and BEAR, F.-E. (1944). — *N. Jersey Agr. Exp. Stn., Bull.* 709.
49. WALLACE, T. and JONES, J.-O. (1940). — *J. Pomol.* 18, 161.
50. COOK, R.-L. and MILLAR, C.-E. (1939). — *P. Soil. Sc. Soc. Amer.* 4, 297.
51. REEVE, E. and SHIVE, J.-W. (1944). — *Soil Sc.* 57, 1.
52. BECKENBACH, J.-R. (1944). — *Univ. Florida Agr. Expt. Stn. Bull.* 395.
53. WHITE-STEVENS, R.-H. and WESSELS, P.-H. (1944). — *J. Amer. Soc. Agron.* 36, 903.
54. HOLMES, R.-S. (1943). — *Soil Sc.* 56, 359.
55. THORNE, D.-W., LAWS, W.-D. and WALLACE, A. (1942). — *Soil Sc.* 54, 463.
56. ROGERS, L.-H., GALL, O.-E. and BARNETTE, R.-M. (1939). — *Soil Sc.* 47, 237.
57. ALBEN, A.-O. and BOGGS, H.-M. (1936). — *Soil Sc.* 41, 329.
58. PEECH, M. (1941). — *Soil Sc.* 51, 473.
59. LYMAN, C. and DEAN L.-A. (1942). — *Soil Sc.* 54, 315.
60. WEST, E.-S. (1938). — *J. C. Sc. Ind. Res., Austr.* 11, 182.
61. BATHURST, A.-C. (1945). — *Farming in S. Africa* 20, 351.
62. REUTHER, W. and CRAWFORD, C.-L. (1946). — *Soil Sc.* 62, 477.
63. MILLIKAN, C.-R. (1946). — *J. Dept. Agric., Victoria* 44, 69.
64. RICEMAN, D.-S. and ANDERSON, A.-J. (1943). — *J. Agr., S. Austr.* 47, 16.
65. PIPER, C.-S. (1942). — *J. Agr. Sc.* 32, 143.
66. MELCHERS, W.-J. and GERRITZEN, H.-J. (1944). — *Koper als onmisbaar element voor plant en dier-Gebr. Zorner en Keuning, Wageningen.*
67. BOBKO, E. and PANOVA, E. (1945). — *Proc. Lenin Acad. Sc.* 3, 12.
68. LIEBIG, G.-F., VANSELOW, A.-P. and CHAPMAN, H.-D. (1942). — *Soil Sc.* 53, 341.
69. BERTRAND, D. (1940). — *C. R. Acad. Sc.* 670.
70. FERGUSON, W.-S., LEWIS, A.-H. and WATSON, S.-J. (1940). — *Jealotts Hill Res. Stn., England, Bull.* No. 1.
71. ANDERSON, A.-J. (1942). — *J. Austr. Inst. of Agr. Sc.* 8, 73.
72. FRICKE, F.-E. (1943, 1944). — *Tasman. J. Agr.* 14, 69; 15, 65; 16, 1 and 109.

73. WALLACE, T. (1944). — The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants; A colour atlas and guide. H. M. Stationery Office, London.
74. BENNETT, J.-P. (1945). — Soil Sc. 60, 91.

ILLUSTRATIONS

1. Potato Experiment at Sutton Park-Lime and fertiliser effects.
2. Cropping experiment on overlimed Podsol at Chetwynd Firs.
3. Indicator Crops for determining mineral deficiencies.
4. *a* and *b*. Manganese toxicity of runner bean and cauliflower.
5. Zinc toxicity of cereals-Zinc/iron relationships.
6. Manganese cycle in soil.

PROGRESS REPORT ON SOIL AND WATER CONSERVATION IN THE UNITED STATES

By W. C. LOWDERMILK.

Chief of Research Soil Conservation Service (Washington D. C.).

Abstract of Paper.

Realization of the menace of soil erosion in North America came slowly. Once it did come, a movement for conservation of soils and waters has grown rapidly. Nevertheless, with all this growth in the past 14 years, much more is yet to be done to reach a stage where soil losses from erosion are no greater than gains from soil formation.

It was not until the phenomena of soil erosion were measured in experimental plots and areas that the true nature and destructive rates of soil erosion became known throughout the nation. Thereafter, it was a matter of simple calculations to foretell in how many years under prevailing agriculture, top soils on sloping lands would wash away to encumber streams with silts and sands.

Such knowledge called for action. It was in the great depression of the 1930's that a program of demonstration projects for erosion control throughout the nation was established for the two-fold purpose of giving employment and of saving soil. Moreover, these demonstration projects were not entirely suited to spreading soil conservation throughout the nation. A device was needed to give more play to individual initiative of farmers themselves. Out of this need State enabling acts gave farmers the opportunity to establish Soil Conservation Districts as legal subdivisions of the States. These Districts belong to farmers, who have the initiative and responsibility for soil and water conservation of lands within their respective districts. Through their boards of five supervisors each District also has the authority to call on State and Federal agencies for assistance in works and practices of soil and water conservation.

Growth of Soil Conservation Districts has been so rapid in the past 8 years as to make this movement one of the most remarkable in American agriculture. In this time up to November 1, 1946, 2129 petitions from farmers for the formation of Districts have been received, 1872 were passed upon as needed, referenda have been held in 1782, and 1722 Soil Conservation Districts were established, including the enormous

area of 37,090,245 Hektars (927,256, 121 acres) out of 76,000,000 Hektars (1,900,000,000 acres) of the 48 States.

In the course of giving assistance to farmers of these Districts, experience has developed new findings and procedures. Researches in soil erosion have discovered in the dynamics of raindrops a little suspected cause of much soil erosion. Notable progress has also been made in surveying land to determine land-use capabilities for sustained use. A land capability calls for the integration of several factors of land, including soil series; slope, degree of erosion, use, and hazards to sustained use, as well as measures and practices required to safeguard the integrity of the soil resource under use.

Prospects are that all farm lands of the United States may be treated for soil and water conservation within the next 20 years. Thereafter, the principal task will be the maintenance of works and measures on fields, grass lands and woodlands, and the reclamation of gullied badlands, and works for retardation of flood flows and silt production and transport.

DES EFFETS DE L'IRRIGATION SUR LA PERMÉABILITÉ DES SOLS IRRIGUÉS PAR LE SYNDICAT DU CANAL D'IRRIGATION DE CANET (Hérault).

Par Pierre DELLENBACH.

Ingénieur en chef du Génie rural,
Professeur de Génie rural à l'E. N. A. Montpellier.

La commune de Canet est située sur la rive droite de l'Hérault, juste en aval du confluent de la Lergue, à 6 kilomètres environ au sud-est de Clermont-l'Hérault.

Le projet des travaux d'irrigation, dressé par le Service du Génie rural en 1926, a été réalisé en 1929-1930 sous le contrôle de cette administration, avec les directives de M. BLANC, à l'heure actuelle Directeur Général du Génie rural et de l'Hydraulique agricole, alors Ingénieur en chef de la circonscription de Montpellier.

Le syndicat du canal d'irrigation dessert une centaine d'hectares répartis ainsi :

Vignes à vin	50 hectares
Raisins de table et plantations fruitières	40 —
Prairies.	5 —
Cultures maraîchères.	4 —

Les sols irrigués sont assez différents, la proportion de cailloux varie dans de larges limites; la couleur rouge, trait commun de ces sols, est due aux alluvions de la Lergue qui charrie des argiles rouges permienes venant de la région de Lodève.

Les eaux servant à l'arrosage sont pompées dans la Lergue, à proximité de son confluent avec l'Hérault. Les canaux en béton armé, d'une longueur totale de 18 kilomètres, amènent l'eau jusqu'au point le plus élevé de chaque parcelle. Le débit pompé est d'approximativement 80 litres-seconde.

On procède en général à 4 tours d'arrosage s'échelonnant du 15 juin au 15 août environ.

Une analyse des eaux de la Lergue, effectuée en période de basses eaux, a donné les résultats suivants :

Absence de limon.

Teneur de NaCl par litre : 20,3 mg.

Degré hydrotimétrique : 22.

Des essais de perméabilité ayant été effectués, en 1925, à l'époque de l'étude du projet sur deux parcelles « La Sesterade » et « La Garrigue », nous avons mesuré la perméabilité de ces mêmes parcelles en 1939-1945 et 1947.

Le tènement de « La Sesterade » est le type des errains homogènes et compacts de la région; l'analyse physique du sol, en 1947, a donné les résultats suivants :

Sable grossier	: 29	Argile	: 12
Sable fin	: 35	Calcaire	: 8
Limon	: 16		

Le tènement de « La Garrigue », au contraire, est extrêmement caillouteux; son analyse physique, en 1947, a donné les résultats suivants :

pourcentage de cailloux : 86

Analyse de la terre séparée des cailloux :

Sable grossier	: 23	Argile	: 23
Sable fin	: 21	Calcaire	: 3
Limon	: 30		

Les mesures de perméabilité de ces terrains ont été effectuées, en 1925, selon la méthode imaginée par MM. MUNTZ, FAURE et LAINE; et les mesures ultérieures selon la méthode imaginée par M. PORCHET et utilisée actuellement par le Service du Génie rural. Rappelons qu'on creuse un trou de sondage dans le sol et qu'on détermine la vitesse de filtration en étudiant la façon dont l'eau s'infiltré (of *Annales du ministère de l'Agriculture, Eaux et Génie rural*, fasc. 64, 1935).

Pour comparer plus facilement les résultats, nous avons converti approximativement les nombres de perméabilité de l'échelle MUNTZ en vitesse de filtration exprimée en mètres par seconde (K).

Les essais ont eu lieu dans des conditions aussi identiques que possible, après une période sèche, et les résultats ont été les suivants :

1° *Tènement de la Sesterade.* — Parcelle n° 310. Sol compact.

Essai de juin 1925 $K = 8,9 \times 10^{-6}$ mètres/seconde.

Essai du 4 avril 1939 { 1° essai $K = 4,44 \times 10^{-6}$ mètres/seconde
2° — $K = 6,3 \times 10^{-6}$ —

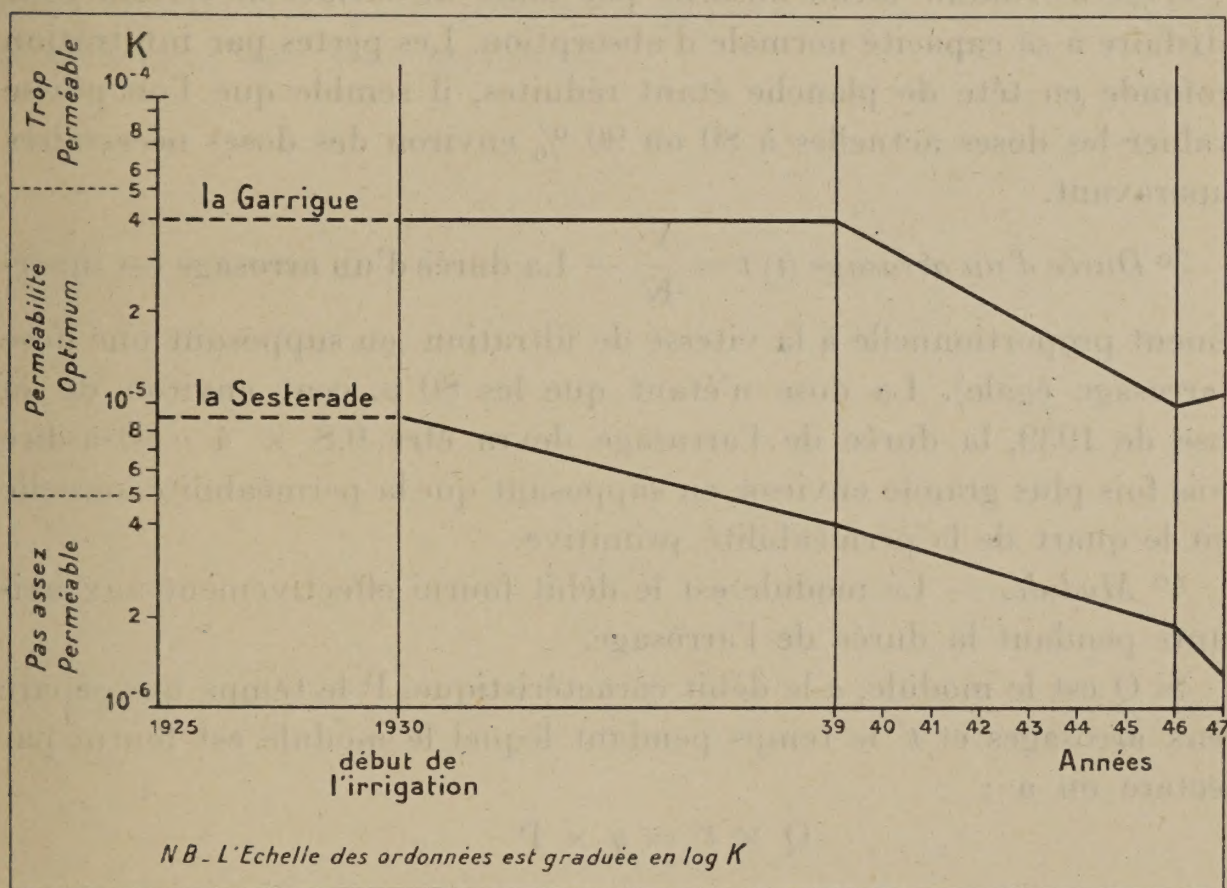
Essai du 8 décembre 1945 $K = 2,14 \times 10^{-6}$ —

Essai du 15 avril 1947 { 1° essai $K = 1,58 \times 10^{-6}$ —
2° essai $K = 1,1 \times 10^{-6}$ —

2° Tènement de La Garrigue. — Parcelle n° 368. Sol très caillouteux.

Essai de juin 1925		$K = 4 \times 10^{-5}$	mètres/seconde.
Essai du 4 avril 1939	1° essai	$K = 4,3 \times 10^{-5}$	—
	2° essai	$K = 4,6 \times 10^{-5}$	—
Essai du 8 décembre 1945		$K = 1,06 \times 10^{-5}$	—
Essais du 15 avril 1947	1° essai	$K = 1,17 \times 10^{-5}$	—
	2° essai	$K = 1,33 \times 10^{-5}$	—

Nous pouvons résumer ces résultats sur le graphique suivant :



On voit dans les deux cas une diminution de la perméabilité avec le temps, beaucoup plus nette d'ailleurs dans le cas du terrain compact dont la perméabilité est à peine le cinquième de la perméabilité initiale; la perméabilité du terrain caillouteux étant encore supérieure au tiers de sa valeur primitive.

On peut donner trois explications à cette diminution de perméabilité :

1° A certaines périodes de l'année, et en particulier après des orages dans la région de Lodève, les eaux de la Lergue tiennent en suspension des éléments très fins (argiles rouges permienues) qui viennent colmater le sol;

2° Un arrosage excessif tasserait le sol, amenant une modification de sa structure;

3° Le pouvoir oxydant de l'eau d'irrigation étant considérable durant l'été, les matières organiques du sol seraient partiellement brûlées, leur combustion donnant des acides. Ces acides, entraînent les bases du sol, amèneraient une défloculation des colloïdes.

Cette diminution de la vitesse de filtration doit entraîner une modification de certains facteurs de l'arrosage.

1° *Débit caractéristique* (q). — Quantité d'eau à apporter pour satisfaire à la végétation des plantes. Inchangé.

2° *Dose d'arrosage* (φ). — En millimètres de hauteur d'eau ou en mètres cubes par hectare.

C'est le volume d'eau absorbé par unité de surface de terrain pour satisfaire à sa capacité normale d'absorption. Les pertes par infiltration profonde en tête de planche étant réduites, il semble que l'on puisse évaluer les doses actuelles à 80 ou 90 % environ des doses nécessaires auparavant.

3° *Durée d'un arrosage* (t) $t = \frac{V}{K}$. — La durée d'un arrosage est inversement proportionnelle à la vitesse de filtration (en supposant une dose d'arrosage égale). La dose n'étant que les 80 p. cent environ de la dose de 1939, la durée de l'arrosage devra être $0,8 \times 4$ c'est-à-dire trois fois plus grande environ, en supposant que la perméabilité actuelle soit le quart de la perméabilité primitive.

4° *Module*. — Le module est le débit fourni effectivement aux irrigants pendant la durée de l'arrosage.

Si Q est le module, q le débit caractéristique, P le temps que sépare deux arrosages et t' le temps pendant lequel le module est fourni par hectare on a :

$$Q \times t' = q \times P$$

Si on voulait arroser tout un hectare à la fois, le module devrait être égal à 10.000 fois la vitesse de filtration, le module devrait donc diminuer en même temps que la vitesse de filtration.

On appelle unité parcellaire d'arrosage la superficie qu'on peut arroser en une seule fois en employant tout le module pendant la durée théorique d'arrosage.

Soit s la surface de l'unité parcellaire on a :

$$Qt = Vs \text{ ou } Q = Ks.$$

En gardant le même module la diminution de la perméabilité permet donc d'augmenter la surface de l'unité parcellaire d'arrosage.

Nous voyons par conséquent combien la diminution de perméabilité influe sur les facteurs de l'arrosage. En gardant les mêmes valeurs qu'au début, de l'irrigation de 1930, on risque de lessiver le sol en donnant trop d'eau ou bien d'avoir une mauvaise infiltration en envoyant trop d'eau pendant trop peu de temps.

Tous les réseaux d'irrigation devraient être suivis régulièrement de façon à utiliser le minimum d'eau avec le maximum de profit pour les cultures.

La présente note n'a pas d'autre but que de poser le problème de la variabilité dans le temps des différents facteurs de l'arrosage, et d'attirer l'attention sur l'intérêt de la solution à lui apporter si l'on veut pratiquer une irrigation vraiment rationnelle, et éviter tout gaspillage d'eau, considération particulièrement importante dans le cycle d'années de sécheresse que nous traversons.

BIBLIOGRAPHIE

*Principales publications françaises
concernant la région méditerranéenne (métropole) de 1935 à 1946.*

(Géographie régionale, Climatologie, Géologie, Pédologie, Phytogéographie.)

I. — GÉOGRAPHIE RÉGIONALE.

- BORDAS (J.). — Avignon, capitale de la région du bas Rhône. Essai de géographie régionale. Extrait des *Mémoires de l'Académie du Vaucluse*. Années 1943-1944. Fr. Rullière, édit. Avignon, 1945.
- Atlas de géographie agronomique des cinq départements du bas Rhône (*Bull. Soc. d'Étude des Sc. natur. du Vaucluse*. 1943).
- FRANÇOIS (L.). — Étude sur l'évolution actuelle des Côtes de Camargue. « Les Études rhodaniennes » (*Rev. de Géogr. rég.*, nos 2, 3, 1937).
- GEORGES (F.). — La région du bas Rhône. Thèse de Géographie régionale. Paris, Baillière, édit., 1935.
- Étude géographique sur le bas Languedoc (la région Montpelliéraine). 1 vol., 141 p., 24 fig., 15 p. H.-C. Peyre édit, Paris.
- KUHNHOLTZ-LORDAT (G.). — La « Terre incendiée ». Ouvrage 361 p., 10 fig., 28 phot., 24 tabl. Lexique. Édit. de la Maison Carrée. Bruguier édit. Nîmes, 1938.
- MARTONNE (E. DE). — La région méditerranéenne. Payot édit.
- SALGUES (R.). — Port-Cros. Étude de géographie physique (*Ann. Soc. Hist. nat. de Toulon*, n° 19, pp. 37-56, 1935).
- SION. — La France méditerranéenne. Paris, 1941. Colin édit.

II. — CLIMATOLOGIE.

a) Climatologie générale :

- BORDAS (J.), JOESSEL (P.-H.).
- MATHIEU (G.) et ANRES (E.). — Observations générales sur le climat d'Avignon (*C. R. de l'Acad. d'Agric.* Paris, 1938, t. XXIV, pp. 552-557).
- CHAPTAL (L.). — Une série d'années pluvieuses à Montpellier (*Bull. mens. du serv. municip. d'Hyg.* Années 1935 à 1943).
- Notes sur la durée de l'insolation à Montpellier (*Bull. de la Comm. Météor. de l'Hérault*, année 1942).
- Contribution à l'étude du régime des vents à Montpellier (*Bull. de la Comm. Météor. de l'Hérault*. Années 1943-1944).
- Notes sur l'importance et la durée des pluies à Montpellier (*Bull. de la Comm. Météor. de l'Hérault*. Années 1943-1944).
- HÉNIN (S.) et GODARD (H.). — Relation entre l'évaporation, la température et l'indice d'aridité (*C. R. de l'Acad. des Sc.*, 27 nov. 1944, t. CCXIX, pp. 559-560).

b) Phytoclimatologie :

- CHAPTAL (L.). — Quelques problèmes de climatologie agricole (*Ann. de la Soc. d'Hort. et d'Hist. natur. de l'Hérault*. 1935).
- Évaluation de la pluviosité en météorologie agricole (*C. R. des séances de la Comm. intern. de Météor. agric.* Dantzig, 1935).

- CHAPTAL (L.). — La détermination des conditions thermiques en phytoclimatologie (*Ann. de l'École nat. d'Agr. de Montpellier*, t. XXV, fasc. 1. Année 1938).
- Contribution à l'étude du phytoclimat (*Ann. des Epiphyties et de Phytogénétique*. 1940).
- EMBERGER (L.). — Un projet d'une classification des climats, du point de vue phytogéographique (*Bull. Soc. d'Hist. nat. de Toulouse*, t. LXXVII, 1942. 2^e trim., pp. 92-124).
- La définition phytogéographique du climat désertique (*C. R. Soc. Biogéogr.* 1 vol. sur les régions désertiques, pp. 1-14, 1937).
- Les limites de l'aire méditerranéenne en France (*Bull. Soc. Hist. nat. de Toulouse*, t. LXXVIII, pp. 159-180, 1944).
- GAUSSEN (H.). — Le climat de la région de Toulouse et son influence sur l'agriculture (*Bull. d'Agric. du Sud-Ouest*, 1945, n^o V, pp. 110-124. Toulouse).

c) Écologie :

- ADRIANI (M.-J.). — Recherche sur la synécologie de quelques associations halophiles méditerranéennes (*Stat. intern. de Géobot. méditerr. et alpine*, n^o 32, 1934).
- BRAUN-BLANQUET (J.) et WALKER (H.). — Zum Okologie d. Mediterranpflanzen (*Station intern. de Géobot. méditerr. et alpine*, n^o 8, 1931).
- BRAUN-BLANQUET (L.) et PAWLOWSKI (B.). — L'eau et l'air du sol dans l'association à *Deschampsia média*. (*Station intern. de Géobot. méditerr. et alpine*, n^o 10. Montpellier, 1931).
- CHAPTAL (L.) et RENAUD (P.). — Remarques sur la marche annuelle de la température au point de vue de l'écologie (*Bull. de la Soc. de Biogr.* 1937).
- CHAPTAL (L.). — Les particularités météorologiques de l'année et leur influence sur les principales cultures de la région (*Bull. de la Comm. Météor. de l'Hérault*. Années 1935-1943).
- Le climat et le vignoble du Languedoc méditerranéen (*Ann. Agron.*, 1937, t. VII, pp. 641-696).
- CHAPTAL (L.) et RENAUD (P.). — Quelques effets des conditions atmosphériques de l'année 1942 sur les cultures méridionales *C. R. de l'Acad. d'Agric.* 1942, t. XXVIII, pp. 225-229).
- GIROUX (J.). — Recherches biologiques sur les Ericacées languedociennes. Thèse doct. ès sciences. Paris, 1936.
- WAGNER (H.). — Influence de la lumière sur la répartition locale des espèces de quelques associations méditerranéennes (*Stat. intern. de Géobot. méditerr. et alpine*, n^o 62, 1938).

d) Pédoclimatologie :

- BORDAS (J.). — Le problème de la conservation du sol (*Bull. Soc. d'Études des Sc. nat. de Vaucluse*. Avignon, 1944).
- CHAPTAL (L.). — Le climat pédologique (*Bull. Assoc. franç. pour l'étude du sol*, t. II, 1936, pp. 192-209).
- CHAPTAL (L.) et RENAUD (P.). — Une tentative de protection contre l'érosion du sol (*C. R. Acad. d'Agr.*, 1942, t. XXVIII, pp. 497-499).
- DEMOLON (A.). — Le climat du sol. Confér. 5^e comm. de l'Assoc. internat. de la Science du sol. Vienne, 1937, pp. 15-16 et *Ann. Agron.* 1937, pp. 625, 640).
- SAGUI (C.-L.). — Les forêts et les déserts (*Bull. Soc. d'Étude Sc. natur. de Vaucluse*. Avignon, 1944).

III. — GÉOLOGIE.

- ARLAUD (H.). — Le Turonien des environs de Cassis et les mouvements crétacés en Provence occidentale (*C. R. Acad. Sc.*, Paris, 1935, t. CC, pp. 2029-2030).
- BAULIC (H.). — Sur les derniers mouvements du sol dans la basse vallée du Rhône (*Études rhodaniennes*, t. XI, 1935, n^o 1, pp. 87-89).

- BENEVENT (E.). — Sur l'agencement et l'évolution du relief de la basse Provence (*Ann. de Géographie*, 1937, n° 263, pp. 494-508, 2 fig., 3 pl.).
- BERTRAND (L.). — Sur le rôle des glissements tangentiels par gravité et les décollements dans la tectonique provençale (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. de Fr.* 1943, pp. 24-25).
- BLAYAC (J.). — Les conditions géologiques de l'étang de Thau (*C. R. Congrès Soc. Sav. Paris et départ., tenue à Montpellier*, 1936, pp. 77-78).
- BORDET (P.). — Observations sur le Permien des environs de Roquebrune-sur-Argens (Var) (*C. R. som. des Serv. de la Soc. Géol. de France*, 1943, p. 63).
- BOURDIER (F.). — Les dépôts quaternaires et le problème des loess dans la vallée de la Durance méridionale (*C. R. Acad. des Sciences*, 11 mars 1940, t. CCX, pp. 405-408).
- Sur le quaternaire de la Durance alpestre (*C. R. Acad. des Sciences*, 12 février 1940, t. CCX, pp. 252-254).
- Existence de nombreuses zones d'altération dans les anciens loess de la vallée du Rhône (*Les Études rhodaniennes*, 1939).
- BRUN (P. DE) et CHATELET — Le Massif crétacé d'Uchaux (Vaucluse) et son auréole Miocène (*Bull. Soc. des Sciences nat. de Vaucluse*, Avignon, 1938, n° 2, 1937, n° 3).
- CASTERAS (M.). — Sur la structure du chaînon de Saint-Chinian (Hérault) (*C. R. Paris*, août 1945, 221, pp. 180-182).
- CASTZIGRAS (M^{lle} Fr.). — L'Aquitaniion marin de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône) (*Ann. de la Fac. des Sciences de Marseille*, t. XVII, 133 p., 31 fig., 4 pl., 1944).
- CLAUZADE (G.). — L'enracinement du chaînon de Roussargue-Liquette à l'ouest de la Sainte-Baume (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CC, p. 2100, 1935).
- CORROY (G.). — L'enracinement du chaînon jurassique de Roqueforçade-Nans, au nord-ouest de la Sainte-Baume (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CC, p. 1963. 3 juin 1935).
- L'enracinement des massifs hercyniens des environs de Toulon (*C. R. Acad. des Sciences*, t. CC, p. 2098, 17 juin 1935).
- La géologie provençale (*Congrès de l'Assoc. Franç. pour l'avanc. des Sciences*. Marseille, 16-21 juill. 1936, p. 153).
- L'Oxfordien et l'Argovien de Septèmes (Bouches-du-Rhône) (*Bul. Soc. Géol. de France*, 5, VI, p. 246, 1936.).
- Le lac oligocène de la Tuilière, à l'est de Nans-les-Pins (*Soc. Linnéenne de Prov.*, 25 nov. 1937).
- Le Dôme de Brigou, au sud-ouest de la Sainte-Baume (*C. R. Soc. Géol. de France*, p. 119, 4 août 1938).
- La tectonique des collines de Nans, au nord de la Sainte-Baume (*Ann. Fac. des Sciences de Marseille*, XI, 1938).
- Structure générale du Massif de la Sainte-Victoire (*C. R. des Travaux de la Fac. des Sciences de Marseille*, 1, 7, p. 113, 1943).
- Le Massif de la Sainte-Baume. Études géologiques (*Bull. Serv. carte géol. de France*, 1939. T. XLI, n° 201, pp. 1-124, 38 fig., 7 pl., 1 carte. 1 carte géologique 1/50000^e).
- Les plis couchés de Provence en face de la théorie de l'écoulement par gravité (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. de France*, 1942, pp. 206-208).
- Présence de l'Aalénien dans les chaînons nord-est du cadre montagneux de Marseille (*C. R. som. Soc. Géol. de France*, 1935. Fasc. 11, 12, pp. 153-154).
- La Sainte-Baume. Histoire géologique sommaire du Massif avec itinéraire d'excursions (*Fac. des Sc. de Marseille*, 1940, 31 p., 4 pl.).
- CORROY (G.) et DENIZOT (G.). — Guide géologique de la Provence occidentale (*Ann. Fac. des Sciences de Marseille*, 1935. T. VIII, fasc. 1, 172 p., 34 fig., 4 pl.).
- CORROY (G.). — L'Aptien de la Sainte-Baume (*C. R. Trav. Fac. de Marseille*, 1941. 1^{re} série, t. I, fasc. V, pp. 77, 78).
- CORROY (G.) et GOUVERNET. — Étude stratigraphique et tectonique des collines d'Auriol (Bouches-du-Rhône) (*Trav. Lab. Géol. Fac. Sc. Université d'Aix-Marseille*, 1937, t. I, pp. 5-64, 5 fig.).

- CORROY (G.) et DENIZOT (G.). — La Provence occidentale. (Ouvrage 182 p., 4 pl., 41 fig. *Coll. des Actualités Scient.* Hermann édit. Paris, 1943).
- DENIZOT (G.). — Le problème des terrasses rhodaniennes (*Les Études rhodaniennes*, 1939).
- La Crau, la Camargue et l'étang de Berre (*Ann. Fac. de Marseille*, 1938, t. XI, fasc. 1, pp. 1, 159).
- La Crau, la Camargue et l'Étang de Berre. Étude géologique (*Trav. Lab. Géol. Fac. des Sciences Univ. d'Aix-Marseille*, 1938, t. 11, pp. 5, 151, 9 fig., 9 cartes).
- Description des Massifs de Marseille-Veyre et de Puget (*Ann. Muséum d'Hist. natur. de Marseille*, 1934, t. XXVI, Mém. V, 1934).
- Note sur l'extension des cailloutis pliocènes dans le sud-est de la France (*B. S. G. Fr.*, 1934, t. IV, pp. 613 à 648, 14 fig.).
- Nouvelles observations sur la Crau (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. Fr.*, 1938, pp. 312-313).
- Observations géologiques aux environs de Marseille (*Bull. Serv. Carte Géol. Fr.*, 1938, t. XXXIX, pp. 195-202).
- Pliocène et Quaternaire du bas Rhône (*C. R. Collaborateurs campagne 1939, Bull. Serv. Carte Géol. Fr.* 1940-1946, t. XLII, n° 203, pp. 163-171, 4 fig.).
- La signification morphologique des cailloutis à galets impressionnés dans la vallée de la Durance (*Bull. Assoc. Géol. France*, 1938, n° 113, pp. 62-72, 3 fig.).
- DREYFUS (M.). — Observations sur la feuille de Montpellier au 1/80000^e (*C. R. Coll. Campagne 1939 (Bull. Serv. Carte Géol. de France*, 1940, t. XLII, n° 203, pp. 159-162).
- Contribution à l'étude de quelques problèmes géographiques dans la région montpelliéraine (*Bull. Soc. Languedocienne de Géogr.*, 1941, t. XII, p. 5).
- Une carte du pli de Montpellier entre la Colombière et le Salaison (*B. S. G. Fr.*, 1943, t. XIII, pp. 339-342).
- FRANÇOIS (L.). — Étude sur l'évolution actuelle des côtes de Camargue (*Études Rhodaniennes*, 1937, t. XIII, nos 2 et 3, pp. 71-126, 22 fig., 1 carte).
- FABRE (M^{lle} S.). — Le crétacé supérieur de la basse Provence occidentale : 1. Céno-manien et Turonien (*Ann. Fac. Sc. de Marseille*, 1940, 356 p., 53 fig., 10 pl.).
- FABRE (M^{lle} S.) et GOUVERNET (C.). — Constitution géologique de la pointe de Portissol, près Sanary (Var) (*C. R. Trav. Fac. Sc. de Marseille*, 1941, t. I, fasc. 1 et 2, pp. 26-28).
- Présence et extension du énémanien dans la région sud de Brignoles (Var) (*C. R. Acad. des Sc.*, t. CCXVI, p. 302, 1945).
- GENCE (M.). — L'enracinement des Klippes des Étienne-Encouron au nord de la Sainte-Baume (*C. R. Ac. des Sc.*, t. CCI, p. 88, 1935).
- GEORGES (P.). — Essai de synthèse de l'histoire morphologique des pays du bas Rhône et du bas Languedoc au pliocène et au quaternaire (*Études Rhodaniennes*, 1943).
- L'interprétation des dislocations récentes (pliocène et quaternaire) dans la région du bas Rhône et du bas Languedoc (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. de France*, 1942).
- Style tectonique du bas Languedoc, entre bas Rhône et Corbières orientales (*C. R. Ac. Sc.* 1942, t. CCXIV, pp. 628-629).
- GÈZE (B.). — La Montagne Noire (Extrait du *Bull. de la Carte Géol. de France*, n° 212, t. XLIV, 1943).
- Sur les manifestations volcaniques des Causses et du bas Languedoc (Extrait du *C. R. de la Soc. Géol. de France*, 19 juin 1944).
- Sur le style des déplacements tangentiels hercyniens dans la Montagne Noire et les Cévennes méridionales (*C. R. Soc. Géol. de France*. Séance du 5 juin 1944).
- Structure géologique du versant méridional de la Montagne Noire et des Cévennes méridionales (*C. R. Acad. des Sc.* 1944, t. CCXVIII, pp. 160-162).
- GIOT (P.-R.). — Observations sur l'Éocène et le Sidérolithique du Royans (Isère et Drôme) (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. de France*, 1943, p. 137).

- GOGUEL (J.). — Essai d'une synthèse tectonique de la Provence (*Bull. Soc. Géol. de France*, 1943. T. XIII, pp. 367-381).
- Le Massif néocomien de l'est de Salon (*A. F. E. S. Marseille*, 1936, pp. 249-251).
- Remarques sur la tectonique du Massif de Gigondas et des régions voisines (*Bull. Soc. Géol. de France*, 1938, t. VIII, pp. 355-362).
- GOUVERNET (C.). — Étude stratigraphique et tectonique des collines d'Auriol (Bouches-du-Rhône) (*Ann. Fac. des Sc. de Marseille*, 2, X, 1937).
- LANQUINE (A.). — Quelques précisions structurales et stratigraphiques en plusieurs secteurs des chaînes provençales (feuilles d'Aix, de Toulon, de Draguignan au 1/800000^e) (*C. R. Coll. Campagne 1939. Bull. Serv. Carte Géol. de France*, 1940. T. XLII, n° 203, pp. 173, 186, 2 fig.).
- LAPPARENT (A. E. DE). — Les phases des plissements tertiaires dans la région du Mont Ventoux et de la Montagne de Lure (*Bull. Soc. Géol. de France*, 1941. T. XI, p. 75).
- Précisions nouvelles au sujet des diapirs de Suzette (Vaucluse) et de Propiac (Drôme) (*Bull. Soc. Géol. France*, 1940. T. X, pp. 3-15).
- MENGEL (O.). — Encore un mot sur le « Pertuis de Lamanon » (*C. R. som. des séances de la Soc. Géol. de France*, 1937, fasc. 12, pp. 186-188).
- Essai sur la Seismotectonique du Tricastin (Drôme) (*C. R. som. Soc. Géol. de France*, 1938, pp. 23-24).
- MICHOUX (J.). — A propos de la formation du bassin hydrographique de l'Ardèche (*C. R. som. Soc. Géol. de France*, 1940, fasc. 6, pp. 61-62).
- MICHOU (L.). — Observations sur les terrasses et niveaux d'érosion de la vallée de l'Ardèche (*C. R. som. Soc. Géol. de France*, 1940, fasc. 7, pp. 71-73).
- MONGIN (Mlle D.). — Le golfe burdigalien d'Istres-Martigues (*C. R. Trav. Fac. des Sc. de Marseille*, 1938. T. I, p. 31).
- PARENT (H.). — Tyrrhénien et Flandrien du littoral toulonnais et des îles d'Hyères (*Bull. Soc. Géol. Fr. T. XII*, 1943, p. 3).
- PFENDER (J.). — Les gisements de Cénomanien et Alvéolins en basse Provence (*Bull. Soc. Géol. Fr.* 1935. T. IV, pp. 461-492, 8 fig., 2 tabl., pl. XXIV).
- PHILIPPOT (A.). — La Géologie de la Provence d'après les recherches récentes (*C. R. Soc. Géol. min. Bretagne, Rennes*, 1935. n° 5, pp. 3-4).
- REPELIN (J.). — Sur un sondage dans les terrains oligocènes du bassin de Marseille (*Bull. Soc. Géol. Fr.*, 1935. T. V, p. 167-170).
- ROUVILLE (DE) et DELAYE. — Note sur les terrains Eocène et Oligocène de la région de Montpellier (*Bull. Soc. Géol. Fr. T. XXIV*, p. 727).
- TINTANT (H.). — Aquitanien inférieur lacustre aux environs de Montpellier (*C. R. som. des Séances de la Soc. Géol. de Fr.*, 1943, p. 71).
- Observations sur le Callovien et l'Oxfordien du pic Saint-Loup (Hérault) (*C. R. somm. des séances de la Soc. Géol. de Fr.* 1942, pp. 148-149).
- VERNEY (P.-B.). — L'évolution morphologique du bassin de l'Ardèche (*G. Géol. Med. Physio-Géol. Recks-Utrecht*, 1937, n° 15, 78 p., 31 fig.).

IV. — PÉDOLOGIE.

- AGAFONOFF (V.). — Les sols de France au point de vue pédologique, avec carte, 1936. Paris, Dunod édit.
- Quelques considérations sur la partie colloïdale des sols de France (*C. R. Acad. des Sc.* 1935, t. XII, p. 1057).
- Les types de sols de France et leur répartition (avec carte) (*Congrès intern. des Mines et Géol. appliquée. Paris*, 1936, t. XI, pp. 597 et suiv.).
- AGAFONOFF (V.) et GRAZIANSKY. — Contribution à l'étude des sols rouges méditerranéens de France (*Rev. de Géogr. phys.* 1933. Vol. VI, fasc. 2).
- AGAFONOFF (V.). — Les étapes des analyses chimiques et minéralogiques du sol (*Bull. Assoc. Fr. pour l'étude du Sol*, mars 1929).
- BOISCHOT (P.) et DROUINEAU (G.). — Sur la présence et la constitution de concrétions ferrugineuses dans un sol méditerranéen (*C. R. Acad. des Sc.* 1938, t. CCVI, p. 1577).

- BORDAS (J.). — Contribution à l'étude des sols méditerranéens (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1936, t. CXI, n° 1, pp. 5 et suiv.).
- Contribution à l'étude des types de sols de la basse vallée du Rhône. 1^{er} Mémoire : Conditions générales de formation de ces sols. Études des différents facteurs intervenant dans la genèse (*Ann. Agron.* 1937, t. VII, pp. 35 et suiv.).
- BORDAS (J.) et MATHIEU (G.). — Les types de sols des vignobles des « Côtes du Rhône » (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1937, t. CXI, n° 4, pp. 294-310).
- BORDAS (J.). — L'étude du sol, facteur principal de la fertilité (*L'Éclaireur agricole de Nice*, 1938). Congrès de la Côte d'Azur.
- BORDAS (J.), JOESSEL (P.-H.) et MATHIEU (G.). — Contribution à l'étude des types de sols de la basse vallée du Rhône. 2^e Mémoire : Sol d'érosion sur marnes plaisanciennes (*Ann. agron.* 1938, t. VIII, pp. 44 et suiv.).
- BORDAS (J.). — La pédologie dans le cadre régional (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1927, t. IV, n° 2, pp. 109-112).
- Pédologie et Hygiène (*Ann. d'Hyg. publ. industr. et Soc.*, février 1939).
- Considérations générales sur la pédologie méditerranéenne (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1939, t. V, n° 2, pp. 134-138).
- Contribution à l'étude des types de sols de la basse vallée du Rhône. 3^e Mémoire : Exemple de mise en culture d'un domaine méridional basée sur la technique pédologique (*Ann. Agron.* 1941, t. XI, pp. 182-207).
- Contribution à l'étude des types de sols de la basse vallée du Rhône. 4^e Mémoire : Les « terres rouges et terres blanches » du plateau de Saint-Christol (*Ann. Agron.* 1942, t. XII, n° 2, pp. 251-275).
- BORDAS (J.) avec la collaboration de MATHIEU-REVERDY (G.). — Les sols de la région du bas Rhône. Essai de Pédologie méditerranéenne. Collection des Monographies du Minist. de l'Agric. Imprim. Nat., Paris, 1943.
- BORDAS (J.) et LIDOYNE (A.). — Relation entre la teneur en humus et l'assimilabilité de l'acide phosphorique de certains types de sols de la région du bas Rhône (*C. R. Acad. Agric.* 22 déc. 1943, pp. 542-544).
- BORDAS (J.). — Le problème de la conservation du sol (*Bull. Soc. d'études des Sc. natur. de Vaucluse*. Avignon, 1941).
- Contribution à l'étude des types de sols dans la basse vallée du Rhône. 5^e Mémoire : Les vignobles de sable de Camargue (*Ann. Agron.*, t. XIV, 1944, pp. 215-220).
- Essai d'Agronomie méditerranéenne. Comment aménager un domaine agricole dans la région du bas Rhône. 300 p., 30 cartes, 16 photos. Rullière Frères édit. Avignon, 1946).
- BRAUN-BLANQUET (J.), BLANCK (E.) et HENKESHOVEN — Uber einige Bodenprofile n. d. zugcher. Waldvegetation am d. Ungebune v. Montpellier. (*Stat. intern. de Géol. médit. et alpine*, n° 33, 1934).
- CERIGHELLI (R.) et GAND (E.). — Recherches sur les sols d'alluvions de la Camargue. Constitution physique et évolution (*Ann. Fac. des Sc. de Marseille*. Série 11, t. XIV, fasc. 111, 1944, pp. 107-129).
- CERIGHELLI (R.). — Sur les bactéries nitrées de quelques sols de Provence (*Bull. Soc. Linn. Provence*. 15, 1944, pp. 1-7).
- CERIGHELLI (R.), MICHAUD (R.) et DROUINEAU (G.). — Sur les spectres de rayons X des argiles extraites de sols méditerranéens (*C. R. Acad. Sc.*, t. CCXXII, 1946, pp. 94-95).
- DUBOIS (G.) et FIRTION (F.). — Esquisse de l'extension des limons loessiques en France (*Bull. Serv. Carte géol.*, t. CXI, 1936).
- DROUINEAU (G.), BOISSIÈRE (G.) et PIERRARD (M^{lle} A.). — Les sols de la zone côtière du Sud-Est de la France. 1^{er} Mémoire : Sols sur marnes plaisanciennes (*Ann. Agron.* 1945, t. XV, pp. 483-496).
- DROUINEAU (C.). — Observations sur la migration de l'acide phosphorique et de la potasse des engrais dans un sol de la région méridionale (*C. R. Acad. d'Agric.* 1938, p. 1007).

- DROUINEAU (G.). — Recherches sur la répartition et la fixation de l'acide phosphorique dans un profil de sol brun calcaire recevant de fortes fumures phosphatées (*Ann. Agron.* 1940, pp. 245, 255).
- MARCELIN (P.). — Sur une terre de la garrigue nîmoise (sol jaune à *Brachypodium phaenicoïdos*) (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1936, t. XI, n° 2, pp. 174-177).
- MARCELIN (P.). — Géologie et Pédologie du Gard (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1938, t. IV, n° 2).
- Terres et sols rouges des régions calcaires du Gard et du Vaucluse (*Bull. Soc. étude des Sc. nat. de Vaucluse*, n° 1, 2 et 3, 1941).
- Essai de classification des formations rouges du Gard et des régions limitrophes (*Bull. Assoc. Fr. Étude du Sol*, 1936, t. XI, n° 2, p. 97).
- Le problème des terres rouges (*Bull. de la Soc. Languedocienne de Géogr.*, 2^e série, t. XIII, 1942).
- MATHIEU (G.). — Les terres limoneuses d'alluvions de la région d'Avignon (*Bull. Assoc. Fr. pour l'Étude du Sol*, 1^o t. I, n° 2, oct. 1935, pp. 33-36; 2^o t. II, n° 3, oct. 1936, pp. 178-187; 3^o t. IV, n° 2, juin 1938, pp. 113-120).
- MONTARLOT (G.). — Observations sur les concrétions calcaires (*Ann. Agron.*, 1942, t. XII, pp. 276-288).
- Étude des sols des environs de Saint-Georges-d'Orques. (*Progrès Agric.* 1942, t. CXVIII, pp. 164-166).
- Étude pédologique de la zone de contact de l'Astien et de l'Aquitainien à l'École nationale d'Agriculture de Montpellier (*Ann. Ec. nat. d'Agric. de Montpellier*, Nouvelle série, t. XXVI, fasc. 111, juin 1944).
- Examen microscopique d'un sol rouge de garrigue (*Ann. Agron.*, 1944, t. XIV, pp. 60-69).
- OUDIN (M.). — La Pédologie : son objet, ses méthodes, son intérêt agronomique (*Bull. Assoc. Fr. Étude du Sol*, t. CXI, n° 4, 1937).
- Fer et processus pédologiques, XVIII^e Congrès de Chimie industr. Nancy, 22 sept. 1938 (*Chimie et Industrie*).
- SALGUES (R.). — La terre arable de Port-Cros et ses roches d'origine (*Bull. Assoc. Fr. Étude du Sol*, t. XI, n° 1, 1936, pp. 38-43).

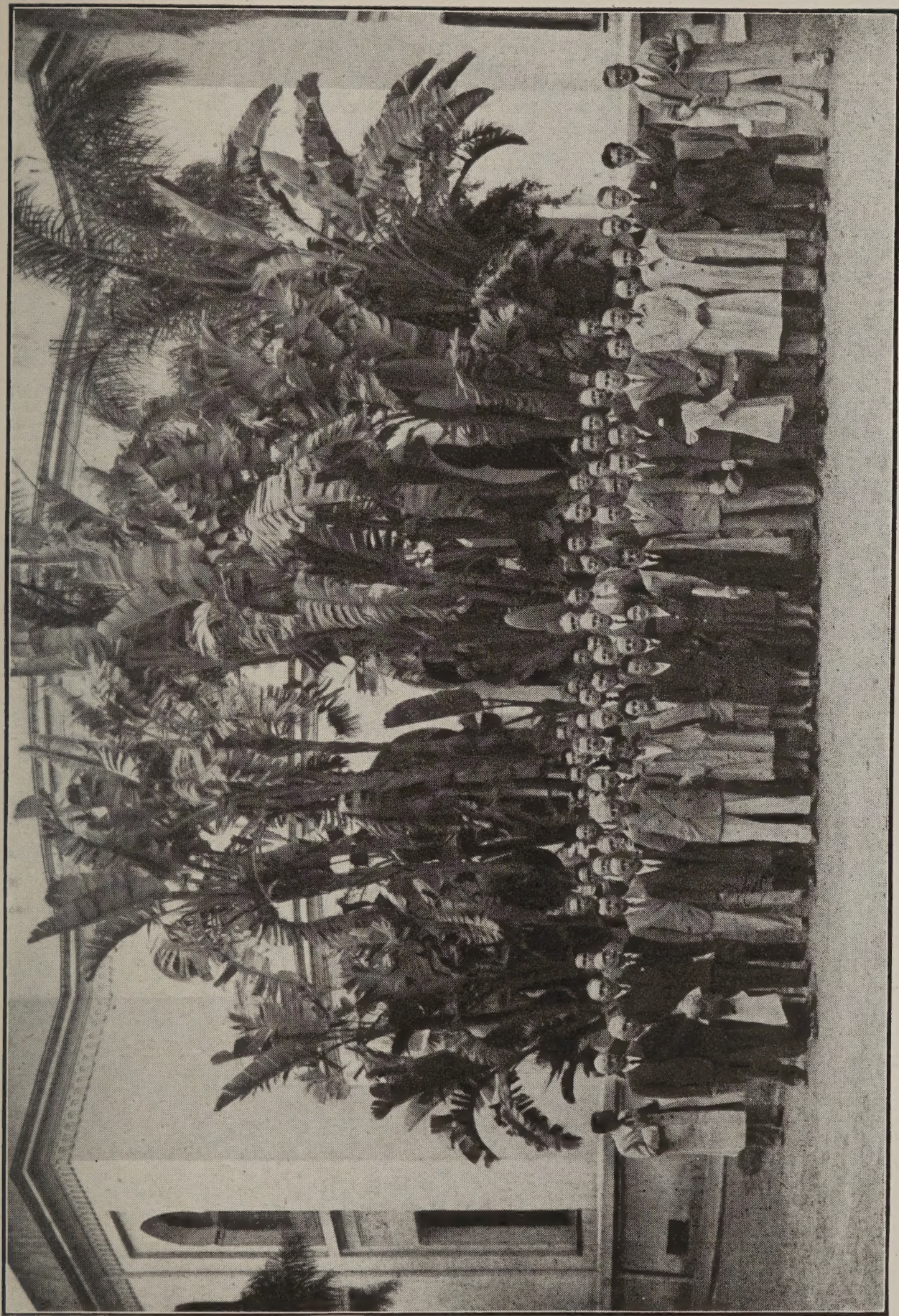
V. — PHYTOGÉOGRAPHIE.

- AUBERT (G.). — Relation entre la pédologie et la géographie botanique (*Bull. Assoc. Fr. Étude du Sol*, t. CXI, n° 2, 1937, pp. 115-118).
- BHARNCHA (F. R.). — Études écologiques et phytosociologiques de l'Assoc. à *Brachypodium ramosum* et *Phlomis lychnillis* des garrigues languedociennes. (Thèse Fac. Sc., Montpellier, 1932).
- BLONDEL (R.). — La végétation forestière de la région de Saint-Paul près de Montpellier. (Publ. n° 79 de la Soc. intern. de Géol. méditerr. et alpine, pp. 1-74, 10 fig., 2 pl., 2 tabl.
- BORDAS (J.). — La fragilité de la forêt et de son sol dans le midi méditerranéen (*Progrès agric. de Montpellier*, 1942).
- BRAUN-BLANQUET (J.). — Un problème économique et forestier de la Garrigue Languedocienne (Publ. n° 35 de la S. I. G. M. A., pp. 1, 22).
- Un joyau floristique et phytosociologique l'« Isoetion » méditerranéen (Publ. n° 42 de la S. I. G. M. A., pp. 1-23).
- BRAUN-BLANQUET (J.) et MOLINIER (R.). — Une excursion phytosociologique à l'île de Porquerolles (Publ. n° 44 de la S. I. G. M. A., 12 p.).
- BRAUN-BLANQUET (J.). — La Chenaie d'yeuse méditerranéenne (*Quercion ilicis*) monographie phytosociologique (Publ. n° 45 de la S. I. G. M. A., 150 p., 23 fig., 9 pl.).
- BRAUN-BLANQUET (M^{me}). — La Lande à Romarin et Bruyère en Languedoc (Publ. n° 48, XI, S. I. G. M. A., 23 p., 1 tab.).
- BRAUN-BLANQUET (J.). — Sur l'origine des éléments de la flore méditerranéenne (Publ. n° 56, XI, S. I. G. M. A., pp. 8-31).

- BRAUN-BLANQUET. — Catalogue de la Flore du massif de l'Aigoual (*Stat. intern. Géol. méditerran. et alpine* Montpellier, n° 20, 1933).
- Les survivants glaciaires dans les végét. méditerranéennes du bas Languedoc, (*Stat. intern. Géol. méditerran. et alpine*, n° 16, 1932).
- BRAUN-BLANQUET (J.) et SUSPLUGAS (J.). — Reconnaissance phytogéographique dans les Corbières (Publ. n° 61. S. I. G. M. A., p. 16, 1 fig.).
- BRAUN-BLANQUET (J.). — Sur l'importance pratique d'une carte détaillée des associations végétales de la France (Publ. n° 86 de la S. I. G. M. A.).
- BRAUN-BLANQUET (J.), EMBERGER (L.) et MOLINIER (R.). — Instructions pour l'établissement de la carte des groupements végétaux de la France. Imp. Causse, Graille et Castelneau, Montpellier, 1947.
- DICKINSON (O.). — Les espèces survivantes tertiaires du bas Languedoc. Thèse doct. Sc., Montpellier, 1934.
- EMBERGER (L.). — Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en France (*Bull. Soc. Hist. natur. de Toulouse*, t. LXXVIII, 1943, 3^e trim., pp. 159-180).
- Les limites de l'aire de végétation méditerranéenne en Italie (*Bull. Soc. Hist. natur. de Toulouse* (à paraître)).
- FIRBAS (F.). — Contribution à l'histoire post-glaciaire des forêts des Cévennes méridionales (*Stat. intern. de Géol. médit. et alpine*, n° 15, 1932).
- GAUSSEN (H.). — Les arbres méditerranéens (*Rev. Eaux et For.*, 1941, t. LXXIX, pp. 305-412 et 488-509, 24 phot. hors texte, Nancy et *Trav. Labor. Forest. de Toulouse*, t. III, vol. Art. II, pp. 1, 38, 4 pl. h. t. Toulouse, 1941).
- GALZIN. — Le Ventoux et l'Aigoual (*Rev. des Eaux et For.*, oct. 1945, pp. 586-604).
- GUINOCHET (M.). — Étude sur la végétation de l'étage alpin dans le bassin supérieur de la Tinée (Alpes-Maritimes). Thèse Fac. Sc. Grenoble, 1938.
- GUINOCHET (M.) et DROUINEAU (G.). — Notes sur la végétation et le sol aux environs d'Antibes (*Rec. des Trav. de l'Inst. Bot. de l'Université de Montpellier*, 1944, p. 22).
- KUHNHOLTZ-LORDAT (G.). — Reconstitution de l'ambiance perdue de la sylvie méditerranéenne. Congrès des Soc. Sav. Montpellier, 14-18 avril 1936 (*Ann. École Nat. Agric. Montpellier*, 1936, fasc. 11, sept. pp. 103-112. Analysé dans la *Rev. des Eaux et Forêts* de 1937, p. 1931, par M. le Conservateur L.-F. Teissier).
- Réalité historique et géographique de la région du Languedoc méditerranéenne. Roussillon. Journées de synthèse régionaliste Languedoc-Roussillon, 6 et 7 nov. 1942. X^e région économique, Montpellier. Imp. Causse, Graille et Castelneau, pp. 20, 27, 1943.
- Sur la portée pratique de la pédologie en matière de « délimitation ». Assoc. Fr. Étude du sol, Montpellier, 29 mai 1943 (*Ann. École Nat. d'Agric. Montpellier*, juin 1944, 6 p.).
- KUHNHOLTZ-LORDAT (G.), Baron LE ROY (P.) et MATHIEU (G.). — Châteauneuf-du-Pape (*Ann. Agron.*, janv.-févr. 1939, 45 p., phot., fig.).
- KUHNHOLTZ-LORDAT (G.). — La Silva, l'Ager et le Saltus de garrigue (*Ann. Ecole Agric. Montpellier*, 1945 (fasc. unique). Rapport adopté par la X^e région économique.
- MOLINIER (R.). — Études phytosociologiques et écologiques en Provence occidentale. Thèse de la Fac. des Sc. Paris (*Ann. Muséum d'Hist. nat. de Marseille*, 1934).
- MOLINIER (R.). — Contribution à l'étude de la Flore de la Provence occidentale (*Bull. « Le Chêne »*, Marseille, 1935).
- Une excursion botanique à l'Île Verte (La Ciotat) (*Bull. « Le Chêne »*, Marseille, 1935).
- Principes de cartographie phytosociologique appliqués aux monts Olympe et aurélien (Provence occidentale) (*Ann. Soc. Hist. nat.*, Toulon, 1935).
- Compte rendus des excursions dans les massifs de Marseilleveyre et de la Sainte-Baume. Session de la Société Botanique de France en Provence (en collaboration avec M. Laurent) (*Bull. Soc. Botan. de Fr.* 1936).
- Notes sur la Flore du Massif de la Sainte-Baume (*Ann. Soc. d'Hist. nat.*, Toulon, 1936).

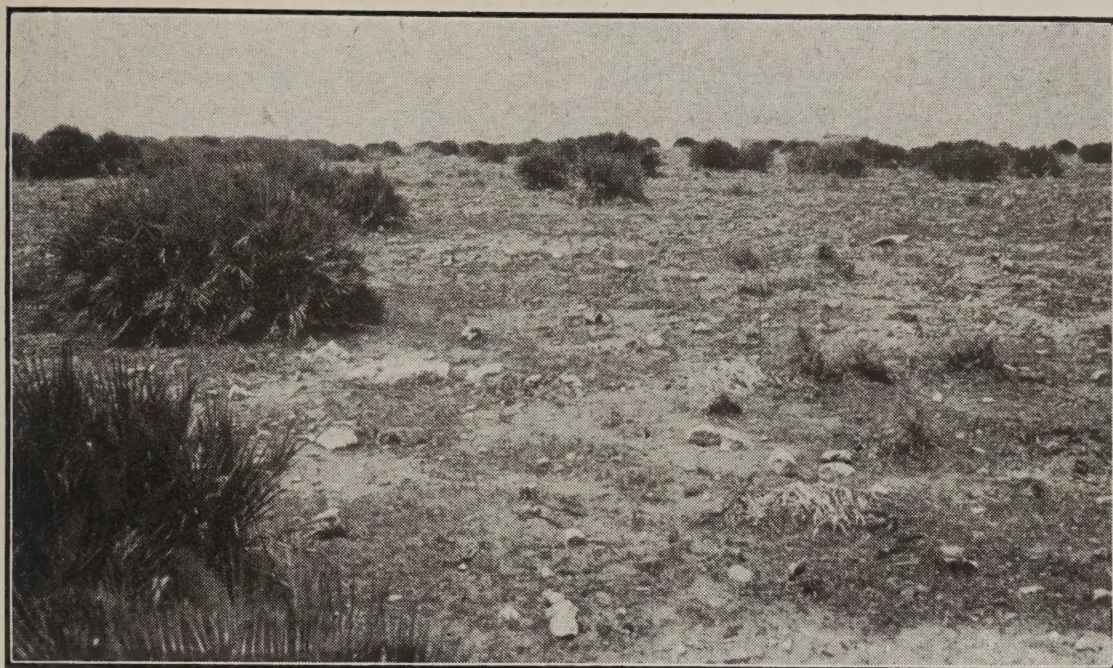
- MOLINIER (R.). — Carte des associations végétales des massifs de Carpiagne, Puget et Marseilleveyre (*Bull. « Le Chêne »*, Marseille, 1937).
- Les Iles d'Hyères; étude phytosociologique (*Ann. Soc. Hist. nat.*, Toulon, 1937).
- MOLINIER (R.) et LE BRUN. — Contribution à l'étude de la Flore du Sud-Est : observations sur la Flore du Lubéron (Vaucluse) (*Bull. Soc. Bot. de France*, 1938).
- MOLINIER (R.) et MULLER (P.). — La dissémination des espèces végétales (*Rev. Gén. de Bot.*, Paris, 1938).
- MOLINIER (R.). — La végétation du Massif du Lubéron (Vaucluse) (*Bull. « Le Chêne »*, Marseille, 1938).
- Les associations végétales du Massif de la Sainte-Baume (*Bull. Soc. d'Hist. nat.*, Toulouse, 1939).
- MOLINIER (R.), BRAUN-BLANQUET (J.) et WAGNER. — Prodrome des associations végétales, fasc. 7. Communic. de la S. I. G. M. A., Montpellier, 1940.
- MOLINIER (R.). — Note sur la Flore et la végétation du massif d'Allauch (*Bull. « Le Chêne »*, Marseille, 1942.)
- MOLINIER (R.) et PRAT (H.). — Remarques sur l'évolution de la végétation et du climat en Provence (*Bull. Muséum d'Hist. nat. de Marseille*, 1934).
- MOLINIER (R.). — Carte en couleurs des associations végétales du Massif de la Sainte-Baume au 1/50.000^e, 1944).
- La carte des Associations végétales de la Sainte-Baume. Communic. à la Soc. Biogéogr., Paris, 1944.
- NÈGRE (G.). — Le massif de la Sainte-Victoire. Dipl. d'Ét. sup. Marseille, 1946.
- SALGUES (R.). — Aperçu phytosociologie sur le département du Var (*Ann. Soc. Hist. natur.* Toulon, n° 22, pp. 59-103, 1928).
- SOROCEANU (E.). — Recherches phytosociologiques sur les pelouses méso-xéro-philés de la plaine Languedoc (*Brachypodium phœnicoïdes*). Thèse Doct. Sciences. Montpellier, 1935.
- SUSPLUGAS (J.). — L'homme et la végétation dans le haut Vallespir. Thèse Pharm. sup. Montpellier, 1935.
- SUSPLUGAS (J.) et BRAUN-BLANQUET (J.). — Reconnaissance phytogéographique dans les Corbières (*Bull. Soc. Bot. de France*, 1938, t. LXXXIV).
- SUSPLUGAS (J.). — Les bois de Vergnes à l'Est des Pyrénées (*Alnetum Vatalauniam*). Soc. Pharm. Montpellier, 5 avril 1943.
- TAILLON (G.). — Observations botaniques et météorologiques. *Actes réserve zoologique et botanique de la Camargue*. N° 1 de mai 1930 au N° 24 de 1941.
- La réserve naturelle de Camargue (*Mémoires Soc. Biogéogr.* Paris, 1937).
- Le bois des Rièges (Camargue). Vol. 2^e Congrès intern. de protect. de la nature. Paris, (juin-juill. 1931).
- TCHON (Y.). — Études écologiques et phytosociologiques sur les forêts riveraines du bas Languedoc. Thèse Fac. de Montpellier, 1946.

RÉUNIONS EN AFRIQUE DU NORD



Conférence de Pédologie Montpellier—Alger 1947. Les Congressistes à Alger (Maison Carrée).

Montpellier—Alger Conference of Pedology 1947. Congressists at Maison-Carrée, Alger.

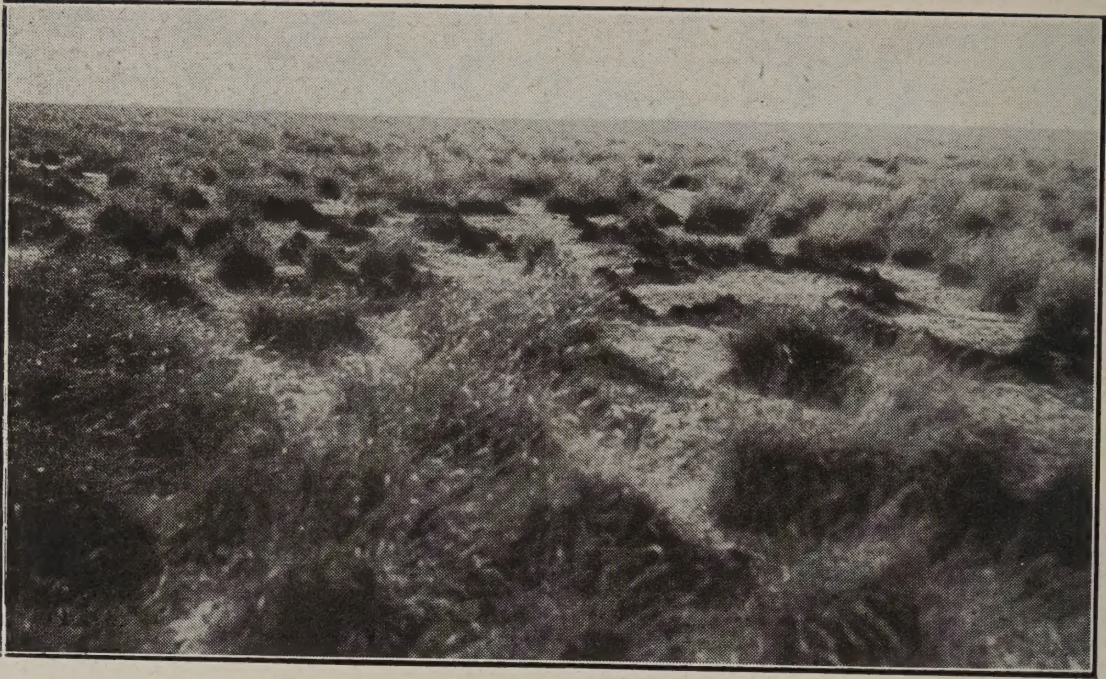


Algérie. Nord de Saint-Denis. Sol châtain rouge érodé.
Érosion de fragments de croûte calcaire.

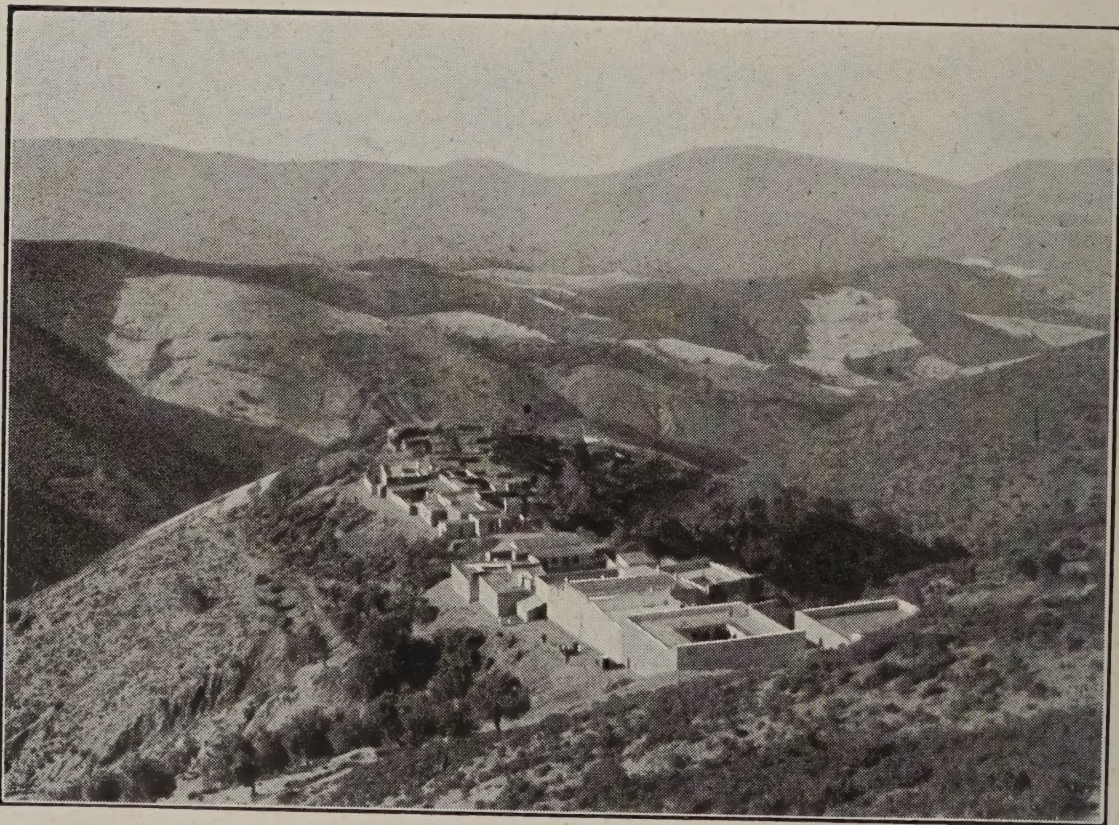
Algeria. North of Saint-Denis. Eroded reddish-chestnut soil
with erosion pavement of fragments of croûte calcaire.



Le lac salé (274 gr. au litre) près Perrégaux (département d'Oran).
The Salt Lake (274 gr. p. liter) near Perrégaux (Oran district).



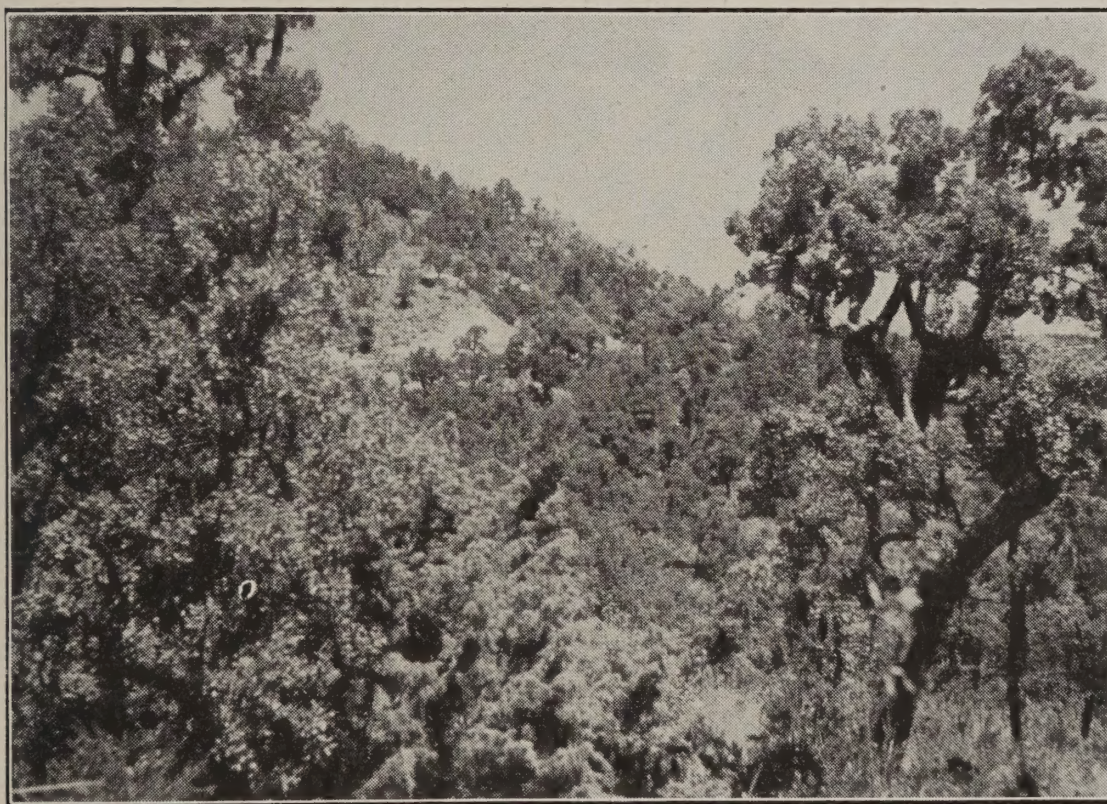
Algérie, 14 km. nord de El Aricha.
 Paysage d'alfa en touffes sur sol brun rouge.
 Algeria. 14 km. north of El Aricha.
 Landscape on reddish-brown soil showing alfa grass in tufts.



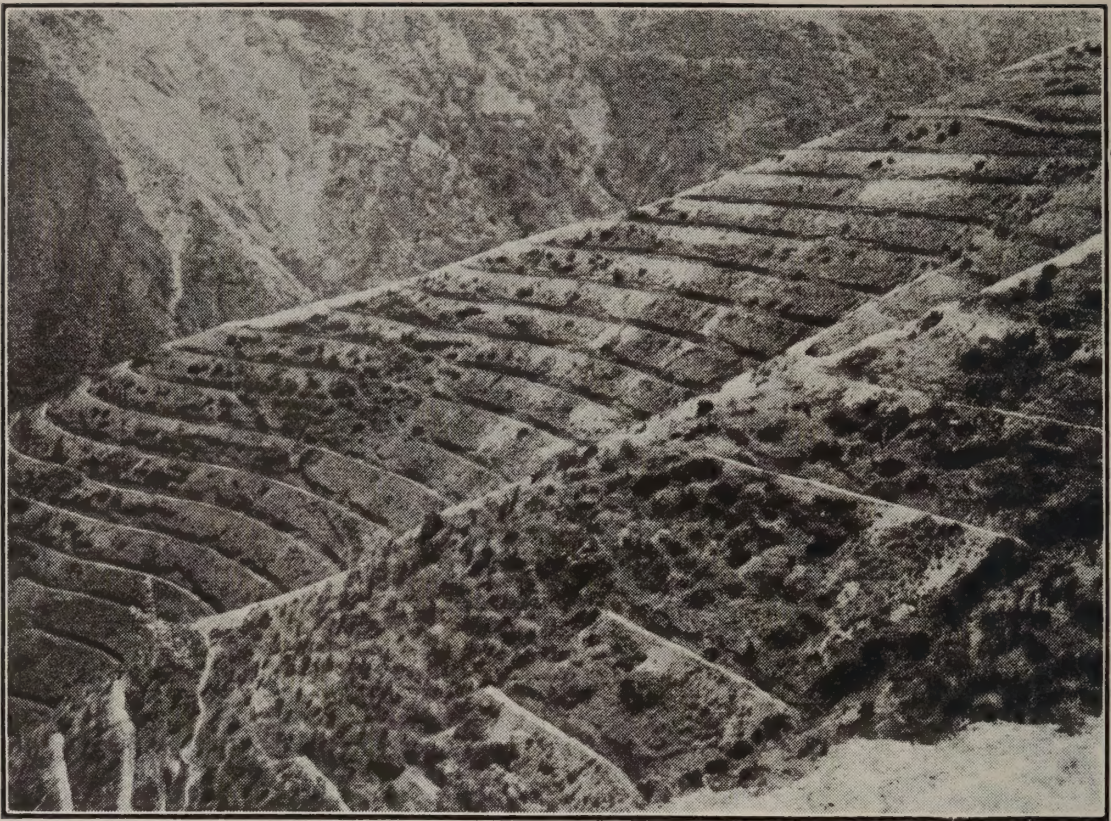
Algérie. Est de Nedroma. Village de Sidi-ben-Amar peuplé de Kabyles.
 Algeria. East of Nedroma. Village of Sidi-ben-Amar occupied by Kabyle people.



Algérie. 3 km. sud d'Eugène-Étienne.
 Terra Rossa rouge châtain, transition de chaux dolomitique dure.
 Algeria. 3 km. south of Eugène-Etienne.
 Terra Rossa reddish chestnut transition from hard dolomitic limestone.



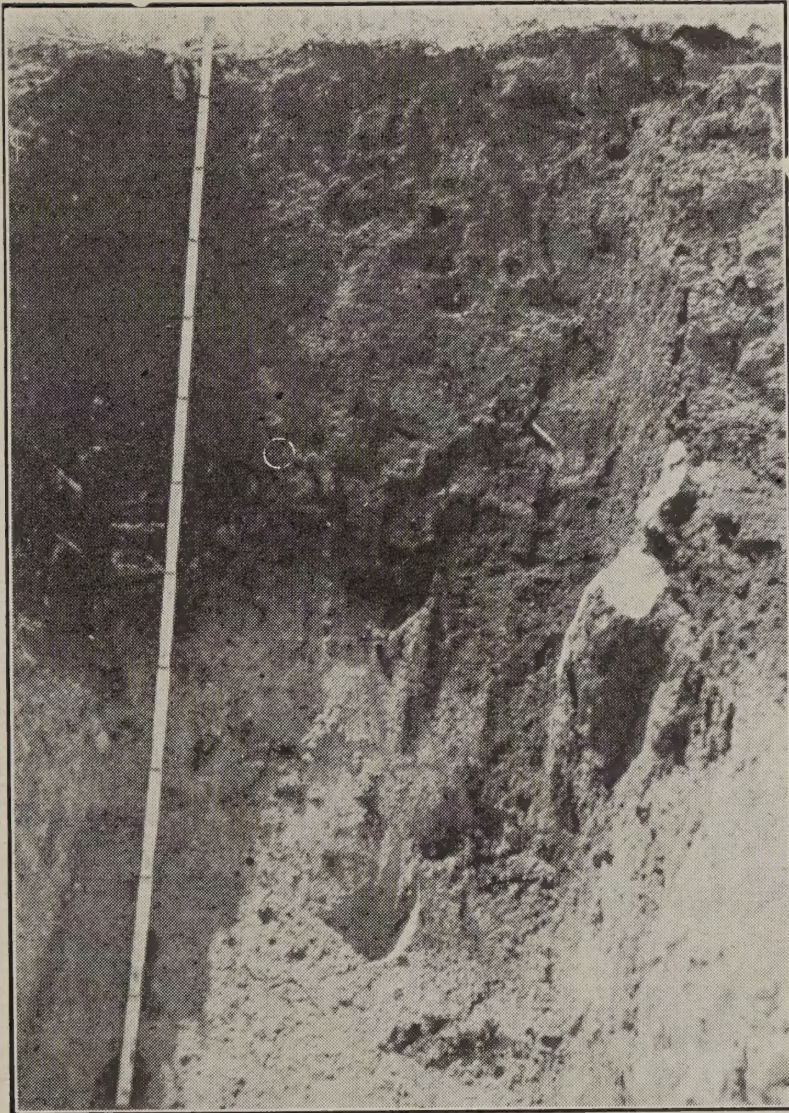
Algérie. Les montagnes près de Tlemcen.
 Vue générale de chênes-lièges sur sol brun de forêt dégradé.
 Algeria. In mountains near Tlemcen.
 General view of cork oak on degraded brown forest soil.



Algérie. Sud de Blida. Terrasses bien assises sur pente d'environ 70 à 80°.
 Algeria. South of Blida. Terraces well made on about 70 to 80 percent slope.



Algérie. Près de Saint-Tahor. Terrasses récentes pour la culture des arbres fruitiers et pour lutter contre l'érosion. A noter les talus de pierre pour conserver l'eau et recevoir les fortes averses. Distance verticale entre les terrasses : 4 m.; canal : largeur 1 m. 1/2. Terrasses légèrement contournées.
 Algeria. Near Saint-Tahor. New terraces for planting fruit trees and for erosion control. Note stone facings to save all water and be prepared for very heavy showers. Vertical distance between terraces 4 meters; channel 1 1/2 meters wide; and ridge a little over 1 meter wide. Terraces at slight angle to contour.



Algérie. Sud-ouest de Saint-Tahor. Profil de rendzine.
Algeria. Southwest of Saint-Tahor. Profile of rendzina.

L'ALGÉRIE AGRICOLE

Par

M. BARBUT et M. BERTHAULT
Inspecteur général Professeur
(Alger).

LE MILIEU NATUREL

A. — Considérations générales.

En marge des conférences et communications des savants spécialistes participant à ce congrès, l'exposé que, pour répondre à la demande des organisateurs, nous vous présentons, M. BERTHAULT et moi, n'a, au moins dans sa première partie, aucune prétention à l'originalité. Il vise simplement à faciliter votre compréhension d'un pays où beaucoup d'entre vous abordent pour la première fois, et qu'il ne sera pas possible, pendant les quelques jours où vous serez ses hôtes, de vous faire connaître sous tous ses aspects : juxtaposition de régions différentes, pays complexe dans son relief, varié dans ses paysages et son peuplement et où, suivant l'expression du professeur DESPOIS, « la nature et les hommes semblent avoir de tout temps collaboré pour empêcher que se réalisât son unité. »

Inséparable géographiquement du Maroc et de la Tunisie, avec lesquels elle forme une grande région naturelle dont elle couvre environ les 3/7, l'Algérie, l'Algérie du Nord tout au moins, celle qui s'étend jusqu'au pied de l'Atlas saharien, appartient à la « Berbérie », définie souvent comme une portion d'Europe accolée au compact continent africain.

Elle diffère cependant de ses voisines « dont elle n'a ni les larges plaines, ni la double exposition marine ». Elle s'étend très loin vers le sud — 2.000 km au méridien d'Alger — et cette partie méridionale de son territoire dépasse le Tropique et entre en coin dans la zone torride. On conçoit que du point de vue climat, notamment, les contrastes, voire les oppositions, soient très marqués entre le Nord qui appartient à la zone tempérée chaude et le Sud.

Le Nord, c'est-à-dire la Berbérie, est une dépendance méditerranéenne;

Le Sud, c'est-à-dire en fait le Sahara désertique, avec ses rares oasis

et quelques massifs montagneux (Hoggar), est seul spécifiquement africain.

C'est à l'Algérie du Nord que nous bornerons essentiellement notre exposé.

Qu'on l'aborde par le Nord ou par le Sud, elle apparaît comme un pays de « hautes terres », dont l'altitude moyenne est de 800 à 900 m, et dont l'orographie est caractérisée par deux systèmes montagneux orientés sud-ouest—nord-est : l'*Atlas Tellien* au Nord et l'*Atlas Saharien* au Sud. Entre les deux s'étend une zone de *Hautes plaines* résultant d'accumulations d'alluvions, sans débouchés vers la mer, ne laissant émerger que les sommets. De nos jours encore, les oueds et les eaux de ruissellement y aboutissent souvent à des dépressions salées : « sebka » ou « zahrez ».

« Le relief de l'Algérie est dû au plissement et à la surrection, à l'époque tertiaire, des sédiments déposés au fond des mers bordières du vieux continent africain, à l'époque secondaire et au début du tertiaire » (professeur DESPOIS).

Le Sahara, socle de roches anciennes, et non fond de mer récemment asséché, comme on l'imaginait encore il n'y a pas bien longtemps, a été la masse rigide contre laquelle ont été refoulés les plis de l'Atlas.

Bien qu'affecté, dès l'époque carbonifère, par les plissements « hercyniens », ce sont les plissements « pyrénéens » (éocène inférieur) et surtout « alpins » (miocène moyen), complétés par un important travail d'érosion et d'alluvionnement qui ont sculpté le relief actuel de l'Algérie.

« Quant à son *climat*, il est, dit DEMONTÈS, la résultante d'une double action méditerranéenne et saharienne : l'une vivifiante et l'autre meurtrière et brutale ».

D'après LASSERRE, le climat de la côte n'est nullement marin, comme on pourrait le croire *a priori*. L'amplitude annuelle dépasse partout 10° (13°5 à Alger), et elle s'accroît en même temps que l'amplitude diurne, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte et qu'on gravit les pentes de l'Atlas Tellien. Les hautes plaines ont un climat nettement continental (amplitude annuelle de 20° et au-dessus). Janvier est encore le mois le plus froid mais juillet, et non plus août, est le mois le plus chaud. Les vallées sublittorales, même rapprochées de la mer, ont également un climat continental (Cheliff, Sebaou, Soumamm, Seybouse).

L'humidité atmosphérique décroît du nord au sud et de l'est à l'ouest.

Les chutes de pluies présentent de grandes inégalités. Sur le littoral et le versant nord du Tell, la tranche annuelle croît de l'ouest à l'est de moins de 500 mm à Oran, à 700 mm à Alger, et jusqu'à plus de 1 m dans certains massifs montagneux du Constantinois (Massif de Coll jusqu'à 1.500 et 1.800 mm).

Cette tranche diminue rapidement du nord au sud. La partie nord des hautes plaines à céréales ne reçoit guère que 350 à 400 mm, le sud, steppique, souvent moins de 200 mm.

On distingue nettement, dans l'Algérie du Nord, une saison sèche et une saison des pluies. Mais on note d'importantes variations, qui enlèvent à peu près toute signification à la notion de « moyenne pluviométrique », et se traduisent, soit par une chute tardive des pluies d'automne, soit par une sécheresse précoce de printemps, qui mettent souvent les récoltes en péril. Il n'est pas rare que la plus grande partie de la tranche annuelle tombe en quelques mois seulement, sous forme de pluies torrentielles (jusqu'à 1 mm par minute, pendant une demi-heure), dont la puissance d'érosion, sur les sols non protégés par la végétation est considérable.

La neige, exceptionnelle sur le littoral, est fréquente, mais de courte durée sur les Hautes Plaines, plus durable seulement sur les sommets, sans persistance cependant d'un hiver à l'autre.

Les vents sont souvent violents, notamment sur les Hautes Plaines, et l'érosion éolienne est appréciable. Les vents du sud ou « sirocos », dont l'effet thermique très marqué en été (40° et plus), se complique d'une grande sécheresse de l'air, causent souvent aux récoltes de véritables désastres; en même temps qu'ils exercent un effet déprimant sur l'organisme humain.

Les gelées blanches ne sont point rares, au printemps, dans les plaines, les cuvettes, les fonds de vallées et sur les Hauts Plateaux.

*
* * *

En définitive, structure, relief et climat, partagent l'Algérie en trois grandes zones plus ou moins parallèles à la mer : d'où les trois grandes divisions classiques du *Tell*, des *Hauts Plateaux* et du *Sahara*. De plus, certaines dissemblances permettent de distinguer, surtout dans la zone tellienne, une *Algérie occidentale*, et une *Algérie orientale*, assez bien délimitées par une ligne partant du littoral algérois vers le massif du Chenoua, passant vers Médéa, laissant à l'est la cuvette du Hodna, et s'étendant vers Biskra.

C'est évidemment dans le cadre des grandes régions naturelles que s'inscrivent les différentes régions agricoles de l'Algérie, puisque ce sont essentiellement les facteurs sol et climat qui déterminent les possibilités culturales d'un territoire donné. Cependant, le facteur humain joue ici un rôle important, et certaines régions ont été complètement transformées par son action (zones maraîchère du littoral algérois, périmètres dominés par les grands barrages, etc.), Mais si les interventions

de l'homme ont permis, dans beaucoup de cas, d'accroître sensiblement la production d'une région, pour avoir ignoré ou surestiné les limites de son action, pour n'avoir pas procédé au préalable à une étude agrolologique approfondie, ou l'ayant fait, pour n'avoir pas attaché assez d'importance aux facteurs climatiques, la colonisation française a enregistré dans ce pays certains échecs qui sont dans toutes les mémoires (zone sud des Hautes plaines à céréales).

Dans le même ordre d'idées, des imprudences ou des destructions, dont il faut souvent situer l'origine à la fin de l'occupation romaine, et dont il existe, comme vous pourrez le constater vous-mêmes, de trop nombreux exemples : défrichements ou déboisements intempestifs de terrains de montagne, excès de dépaissance, excès d'irrigation dans certaines zones salées, etc..., ont contribué à la dégradation temporaire ou définitive de sols autrefois fertiles.

Ce sont ces imprudences et négligences de l'homme qui expliquent la quasi-stérilité actuelle de zones, où l'on retrouve des vestiges de civilisation et de peuplement qui ne sont point tellement éloignés de nous. D'où l'importance aussi des travaux de conservation et de restauration des sols, pour lesquels le Gouvernement général de l'Algérie fait depuis quelques années un effort financier et technique appréciable, dont il vous sera exposé d'abord, puis montré ensuite, quelques-uns de ses premiers résultats.

Il reste à l'Algérie à entreprendre l'étude pédologique et agrolologique approfondie de ses zones cultivées. L'étude proprement pédologique de DEL VILLAR, les travaux de caractère agrolologique, géologique et botanique de FICHEUR, TRABUT, ARAMBOURG, POUGET, VILLE, SAVORNIN, DALLONI, Dr MAIRE, KILLIAN, ROSEAU, LÉONARDON, CHEVALLIER, GAUCHER, etc., en constituent les premiers éléments. Le congrès d'aujourd'hui contribuera à leur donner un nouvel essor.

B. — Les régions agricoles.

Les divers auteurs qui les ont décrites ont adopté des classifications variables, mais où se retrouvent cependant les grandes divisions classiques citées plus haut.

Nous reprendrons celle retenue par l'un de nous dans le cours d'agriculture comparée qu'il professe à l'École Nationale d'Agriculture d'Alger (Institut Agricole d'Algérie), et qui tient largement compte des réalités agricoles et humaines. Elle peut être résumée comme suit :

Les Sahels. — Sahel d'Alger : Zone littorale. Sahel proprement dit. Sahel d'Oran.

Les Plainnes sublittorales. — Mitidja. Plaine d'Oran. Plaine de Bône.

Les vallées alluvionnaires de basse altitude. — Vallées du Chélif et de la Mina. Plaine des Issers. Vallée de la Soumamm. Vallée du Zeramna et du Saf-Saf.

Les Plaines intermédiaires entre les plaines sublittorales, les vallées et les Hautes plaines :

- Zone de la M'leta.
- Zone des Flittas.
- Zone de la Mekerra (Sidi-bel-Abbès).
- Plaine des Beni-Sliman et des Aribis.
- Zone de Guelma.

Les Hautes plaines à céréales :

- Plaine des Maalifs.
- Région Tiaret-Frenda.
- Plaine du Sersou.
- Haute Plateaux de Sétif.
- Hauts Plateaux Constantinois.

Les zones de montagne :

a) Avec colonisation européenne : régions de Médéa, Miliana, Mascara, Tlemcen.

b) A culture presque exclusivement musulmane : Dahra, Ouarsenis, Atlas Mitidjien, Kabylies, Aurès.

Les zones du Sud.

*
*
*

I. — LES SAHELs.

a) *Sahel d'Alger.* — C'est un ensemble de collines arrondies, d'origine pliocène, se dressant entre les deux môles anciens de la Bouzaréah et du Chenoua, et se prolongeant à l'est d'Alger, en bordure de la mer, au delà de l'Harrach.

Bénéficiant d'un climat doux, d'une bonne pluviométrie (600 à 800 mm), assez bien répartie au printemps, c'est une région verdoyante, riante, prospère, propre à donner aux touristes qui ne connaissent que les environs immédiats d'Alger, l'idée la plus fausse qui soit de ce qu'est vraiment l'Algérie.

La zone nord, orientée face à la mer (Guyotville, Staouéli, Zéralda, etc.), est plus douce que le versant sud qui reçoit les vents froids de l'Atlas.

Les terres sont de natures assez variées : légères et s'échauffant facilement au printemps lorsqu'elles proviennent de la décomposition des

grès, plus froides, de couleur rouge ou grise, lorsqu'elles dérivent des argiles pliocènes.

Du point de vue des productions agricoles, on peut y distinguer :

Le Sahel proprement dit où dominant des sols marneux, portant des vignobles (molasse rouge), et des arbres fruitiers, ou des cultures fourragères, ou des céréales (argiles grises).

La zone littorale formée de sols légers, sableux, d'origine dunaire, de culture facile, se ressuyant et s'échauffant vite; climat doux où les gelées sont inconnues, favorable aux cultures de primeurs qui y occupent de grandes étendues.

b) *Sahel d'Oran*. — Il n'a ni l'étendue, ni la richesse de celui d'Alger, mais il est comme lui, surtout vers l'Ouest, favorable aux primeurs.

c) On peut rattacher aux Sahels, les régions de Cherchell et de Bougie, la zone de Djidjelli et les coteaux de Philippeville, mais en raison de leur situation du point de vue débouchés, ils se livrent essentiellement à la culture de la vigne.

II. — LES PLAINES SUBLITTORALES.

La Mitidja. — Vaste quadrilatère de 150.000 hectares environ, s'étendant du nord du massif de Tablat jusqu'au Sahel, dont les sols sont formés d'alluvions quaternaires, la plaine de la Mitidja, l'« infecte Mitidja » comme la qualifiait le général DUVIVIER, en 1841, peut être considérée aujourd'hui comme le plus beau joyau de la colonisation française en Algérie.

La pente est assez régulière de l'Atlas vers la mer, et l'on peut distinguer deux zones :

— La région haute avec Blida et Boufarik comme centre.

— Les régions basses, l'une à l'est, vers la mer avec Rouïba, et l'autre à l'ouest vers Marengo.

La partie haute est constituée essentiellement par des alluvions hétérogènes provenant des cônes de déjections formés par des oueds descendant de l'Atlas; la partie basse est plus homogène, mais dans l'ensemble plus compacte.

C'est une région de culture essentiellement européenne, où dominent la moyenne et la grande propriété, assez évoluée, non seulement dans sa technique, mais dans son organisation générale.

Un tiers de la surface est occupé par la vigne : le reste se partage entre les cultures fruitières, à dominante d'agrumes, quelques cultures industrielles (tabac, géranium rosat), les céréales et les cultures fourragère.

Plaine de Bône. — La plaine de Bône, agrologiquement assez semblable, a une évolution moins poussée. Mais les travaux d'assainisse-

ment déjà réalisés (Lac Fetzara) ou en cours, doivent en faire avant longtemps une nouvelle Mitidja de l'Est où prospéreront avec la vigne qui occupe déjà des étendues importantes, cultures fruitières, fourragères et industrielles).

On peut la diviser en deux zones : la zone du *Lac Fetzara* à l'Ouest, et la basse *vallée de la Seybouse*.

Autour du Lac Fetzara dont l'assainissement est à peu près réalisé, les terres souvent salées (jusqu'à 20 gr. et plus au kilo), portent des pâturages et conviennent à l'élevage.

La zone alluvionnaire de la Seybouse a des terres meilleures et une pluviométrie satisfaisante (750 à 800 mm.). Par contre, les eaux phréatiques sont souvent salées.

Les cultures dominantes sont la vigne (10.000 à 12.000 hectares), le tabac (8.000 à 10.000 hectares), et les céréales. Le cotonnier précoce, type américain, y réussit sans irrigation. Les plantations fruitières et notamment les agrumes, sont en progression.

L'organisation coopérative est très développée.

Plaines d'Oran. — Les sols salés y occupent de grandes surfaces. Les plus importantes sont celles du *Sig* et de l'*Habra*, jusqu'ici moins évoluées que les précédentes, mais que les eaux du barrage de Bou-Hanifia sont, pour cette dernière, en train de transformer. La salure des terres est un obstacle sérieux pour leur mise en valeur, mais les études agrologiques en cours dont vous entretiendra M. GAUCHER, et les premiers travaux de drainage réalisés, permettent d'espérer une solution du problème.

Dans toutes les parties saines, les plantations d'agrumes se sont développées à une cadence accélérée au cours de ces dernières années. La « fièvre des plantations » a même conduit parfois à établir des vergers dans des terres salées, où ils sont nettement contre-indiqués, comme le prouvent certains dépérissements.

C'est la meilleure zone cotonnière de l'Algérie.

On y trouve encore l'olivier en culture irriguée, et certaines cultures maraîchères (oignon, tomates de saison et surtout artichaut qui y donne des produits précoces).

Les zones du Nord, marécageuses, se livrent à l'engraissement des bestiaux.

Ce sont des zones de colonisation ancienne, où le peuplement est en majorité d'origine espagnole.

III. — VALLÉES ALLUVIONNAIRES DE BASSE ALTITUDE.

Le sol y est formé par des alluvions arrachées par l'érosion aux zones d'amont.

Vallées du Chélif et de la Mina. — C'est l'une des plus importantes et des plus caractéristiques, encaissée entre l'Ouarsenis au sud, la Zaccar et le Dahra au nord. L'air y est sec, la température torride, les pluies médiocres : « un coin de Sahara perdu dans le Tell. »

Le Chélif est le plus long fleuve d'Algérie. On peut diviser sa vallée en plusieurs sections qui diffèrent par leur climat, et partant par leurs possibilités culturales :

En amont : *la plaine d'Affreville et du Djendel* a la meilleure pluviométrie (400 à 450 mm), mais le climat le plus rigoureux en hiver.

C'est par excellence une zone à *céréales*. *L'irrigation par les eaux du barrage du Ghribs qui doit être réalisée très prochainement, permettra l'introduction de cultures industrielles (sorgho, betterave) et de cultures fourragères (luzerne), qui devront permettre le développement de la production laitière.* Les cultures fruitières, la vigne même, y craignent les gelées printanières.

En aval : *la plaine d'Inkermann et d'Orléansville* est d'abord largement étalée jusqu'au Merdja, puis plus étroite vers Malakoff et Orléansville. On y retrouve les deux types de terre qui caractérisent toute la vallée : alluvions dites anciennes, rouges, assez perméables; alluvions récentes, grises, imperméables, de culture difficile, mais chimiquement plus riches que les précédentes. Les terres compactes et salées dominent vers Inkermann et compliquent la mise en valeur par l'irrigation : *cultures fourragères, coton*. Les possibilités culturales sont meilleures vers Orléansville et Oued-Fodda, où les cultures *arbustives* (agrumes, fruits à noyau et même poirier), prospèrent normalement grâce aux eaux d'irrigation du barrage de l'Oued-Fodda.

Une importante station hydro-agricole vient d'être installée aux Hammadenas, pour étudier la mise en valeur des terrains compacts et salés, qui couvrent dans cette zone des milliers d'hectares.

Entre les deux zones précédentes, *la plaine des Attafs* a un caractère intermédiaire : le coton devient aléatoire.

On peut rattacher à la vallée du Chélif la *plaine de Relizane*, traversée par la Mina, qui fera l'objet d'une excursion et que M. AUBERT, qui l'a beaucoup étudiée, vous présentera plus longuement.

La plaine des Issers est une bande étroite, à sol silico-argileux, perméable et profond, en bordure de la Grande Kabylie et à laquelle se rattache la vallée du Sebaou, et celle de son affluent l'Oued Aïssi, qui lui fait suite vers l'est.

La vallée de la Soumamm s'étend de Beni-Mansour à Bougie avec deux zones, en amont et en aval de Sidi-Aïch. Celle d'aval où la colonisation européenne est la plus développée, porte des vignobles à haut rendement; dans celle d'amont, les Kabyles cultivent surtout l'olivier, le figuier et le caroubier.

Près de Philippeville, les vallées du Zeramna et du Saf-Saf, sont des régions de vigne et de cultures arbustives.

IV. — PLAINES INTERMÉDIAIRES ENTRE PLAINES SUBLITTORALES VALLÉES ET HAUTES PLAINES

Elles sont assez nombreuses, s'étendant en chapelet, parallèlement au littoral et comprennent d'ouest en est :

L'arrière pays oranais, la M'leta au sud de la Grande Sebkha, à faible pluviométrie (moins de 300 mm) et où les terres salées ne sont pas rares.

La région de Sidi-bel-Abbès avec trois zones distinctes :

Le Tessala, zone montagneuse de terres à blé dur, dont certaines pentes sont cultivées jusqu'au sommet qui atteint 900 à 1.000 mètres.

La zone littorale au nord-ouest du Tessala, jusqu'à la mer, avec les centres viticoles riches, tels qu'Aïn-Témouchent, établis sur des sols volcaniques de bonne composition, mais peu stables, et où il devient urgent d'entreprendre une lutte sérieuse contre l'érosion.

La vallée de la Mekerra, avec Sidi-bel-Abbès, comme centre.

C'est une zone de population européenne dense, où l'on trouve la vigne, associée à l'olivier et les céréales. En raison de la sécheresse de l'atmosphère, la vigne craint peu les maladies, mais les gelées font parfois des dégâts au printemps. Pour les céréales, c'est à Bel-Abbès qu'a été mise au point la méthode dite des « préparés », avec assolement biennal : blé, jachère, cultivée, la sole de jachère portant souvent des cultures de légumes secs à grands écartements.

« Nulle part, dit Augustin BERNARD, l'action du colon agriculteur ne s'est exercée aussi profondément et avec autant d'ardeur. »

La plaine d'Egris au sud de Mascara, a des caractères voisins.

La zone de Flittas, cuvette étroite d'alluvions noires, et profonde, a une bonne pluviométrie et les meilleures terres à blé dur d'Algérie.

La zone des Beni-Sliman et des Aribes, la région d'Aumale, à 150 km au sud et sud-est d'Alger, avec les centres d'Ain-Bessem et Bouïra, sont également assez semblable à celle de Bel-Abbès, mais la vigne y est peu développée, quoique y donnant des produits de qualité, le climat étant plus rigoureux en hiver.

La plaine du Hodna, cuvette alluviale allongée, partiellement cultivable vers le nord, présente déjà un climat à caractère saharien.

Le bassin de Guelma, à sols profonds et riches, forme la transition entre les Hauts Plateaux Constantinois et la plaine de Bône, où dominent la culture des céréales, où les olivettes sont nombreuses et l'élevage bovin, largement pratiqué.

V. — LES HAUTES PLAINES A CÉRÉALES.

Plus couramment désignées sous le nom impropre de *Hauts Plateaux*, ce sont des bassins fermés, véritables plaines d'alluvions, souvent salées dans les dépressions, caractérisées comme nous l'avons indiqué, par leur altitude (800 à 1.100 mètres), l'éloignement de la mer, la rigueur et la sécheresse du climat. La pluviométrie varie entre 200 et 500 mm. Les écarts absolus annuels de température atteignent 50 % (+ 40° à — 10°); avec des écarts diurnes dépassant souvent 30°. Les gelées sont courantes jusqu'au 15 mai, et sont parfois suivies, presque sans transition, de sirocos brûlants. La neige est fréquente pendant l'hiver.

La seule culture possible, et rentable seulement dans les zones dont la pluviométrie ne descend pas au-dessous de 300 à 350 mm. est celle des *céréales* avec assolement bi ou triennal. Les méthodes de dry-farming avec une ou parfois deux années successives de jachère cultivée sont indispensables.

Ça et là, la présence de sources, ou d'une nappe phréatique peu profonde, permet l'irrigation et la pratique de cultures fourragères, ou la plantation de pommes de terre.

De l'ouest à l'est, on peut distinguer, dans les Hautes Plainnes :

- la plaine de *Maalifs*, vers Saïda et Aïn-el-Hadjar;
- la région de *Tiaret-Frenda*;
- la plaine du Sersou de colonisation récente, à pluviométrie faible (250 à 300 m) et à gelées tardives.
- les Hauts Plateaux de Sétif à pluviométrie atteignant 400 et 500 m vers le nord, mais descendant rapidement à moins de 300 m au sud de la voie ferrée d'Alger à Constantine. L'élevage du cheval et du mulet est prospère. La race bovine brune des Alpes (Schwytz), s'y est assez bien acclimatée.

Hauts Plateaux Constantinois. — Ils forment une zone de transition entre ceux de Sétif et les régions où les cultures arbustives, et notamment l'olivier redeviennent possibles. L'altitude est de 500 à 600 m., la vie rurale y est dispersée en bassins isolés; les sols sont inégaux; lorsque par leur nature ils permettent l'emploi de méthodes de culture profonde comme dans la région de Redjas, les résultats sont remarquables. Dans certaines vallées (Rhummel, Bou-Merzoug), des prairies permettent l'élevage du cheval, des bovins. Le marché du Kroubs est un des plus importants d'Algérie.

A cette zone se rattachent les régions allant de Constantine vers Batna d'une part, et Tebessa d'autre part.

Dans les Hautes Plainnes à céréales, et dans les plaines intermédiaires, on rencontre fréquemment des « sols à croûte ». Ces croûtes calcaires,

appelées localement « tufs », d'origines encore controversées et probablement diverses, ont été longtemps un obstacle à la culture. Le « détufage », réalisé à l'aide d'appareils défonceurs puissants, par les colons européens, a transformé l'économie agricole de ces régions, en assurant une plus grande régularité de rendements.

VI. — ZONE DE MONTAGNE.

A. — Avec colonisation européenne.

Nous groupons dans cette catégorie :

La région de *Médéa*, petit bassin au milieu de l'Atlas, à 800-900 m. d'altitude, où s'est développée et maintenue une petite et moyenne colonisation pratiquant la culture de la vigne, qui y donne des produits réputés, des *céréales*, et sur une moindre échelle, des arbres fruitiers (cerises).

La région de *Miliana*, à sols plus compacts, souvent ferrugineux, portant des *vignobles fins* sur les pentes du Zaccar à Miliana, Margueritte, Changarnier, et des cultures fruitières sur les pentes de Miliana.

Les coteaux de *Mascara* essentiellement viticoles, produisant des vins corsés, riches en degré.

La région de *Tlemcen*, à forte pluviométrie, où prospèrent comme dans les précédentes, la vigne et les arbres fruitiers (cerisiers, pruniers).

A cette région se rattachent les vallées de l'Isser et de la Tafna, ainsi que la *plaine de Marnia* qui doit être fécondée par les eaux du barrage des Beni-Bahdel.

B. — A culture musulmane presque exclusive.

Nous comprenons dans cette catégorie les régions où la colonisation européenne n'a pratiquement pas pénétré, soit qu'elle se soit heurtée à une population indigène rurale, très dense et très tenace, comme en Kabylie, soit que les conditions de vie y soient trop précaires.

La plus importante est formée par les *Kabylies* (petite et grande Kabylie, ou mieux Kabylie du Djurdjura, Kabylie des Babors et Kabylie de Collo). C'est une région de sols variés, à densité de population extraordinaire (plus de 100 habitants au kilomètre carré), où les forêts de chênes-lièges occupent des étendues importantes. L'arboriculture à base d'*oliviers* et de *figuiers* y est très poussée. Malgré que le sol soit ingrat, tout ce qui est cultivable, est cultivée (blé, orge, sorgho ou bechna).

Entre Batna et Biskra, l'*Aurès* est une véritable « Kabylie du Sud » entaillée de vallées profondes où prospèrent l'abricotier, le figuier, le

noyer. Vers le sud, le palmier lui-même fait son apparition (M'chouneche). Ailleurs, le « Chaouia » pratique l'élevage des moutons et des chèvres, avec une transhumance restreinte vers les plaines à céréales du nord.

L'*Ouarsenis*, château-d'eau du Chélif, l'*Atlas Mitidjen*, le *Dahra*, entre la vallée du Chélif et la mer, sont des zones de plateaux d'altitude variable, où la population musulmane, assez pauvre, se livre à l'élevage et à la culture des céréales.

VII. — ZONES DU SUD.

Du point de vue qui nous occupe, nous réunissons, sous ce vocable : les zones de *Steppe* qui forment le sud des Hauts Plateaux et le *Sahara septentrional*, dont l'ensemble constitue le « pays du mouton », si bien décrit dans l'enquête prescrite vers la fin du siècle dernier par le gouverneur général Cambon. L'altitude varie de 200 à 1.200 mètres, les températures extrêmes de 7° à 45° ; les pluies sont courtes, violentes, diluviennes souvent. L'*Atlas saharien* en forme l'épine dorsale. On peut distinguer quatre zones : la *steppe à alfa* (*stipa tenacissima*) rocailleuse, la *steppe à armoise* (*Artemisia alba-alba*) limoneuse la *steppe à drinn* (*Aristida pungens*) sablonneuse, et la zone des *dayas*, sortes de cuvettes où s'accumulent les alluvions et où se localisent les maigres cultures d'orge de toutes ces régions.

« Les troupeaux, dit M. TROUETTE, bien que peu nombreux en comparaison de la surface dont ils disposent (6.500.000 moutons pour 40 millions d'hectares), trouvent difficilement leur nourriture dans des pâturages trop souvent maigres. » Ils ne peuvent séjourner longtemps sur les mêmes points, le régime de la transhumance leur est imposé par la nature, et le nomadisme est la règle pour leurs pasteurs. L'avenir de l'élevage dépend avant tout de la multiplication des points d'eau, œuvre longue et malaisée que poursuit inlassablement l'Administration algérienne. Le chameau, ou plus exactement le dromadaire dont l'introduction remonterait seulement, si l'on en croit GAUTHIER, à la fin de la domination romaine, y est l'auxiliaire indispensable du nomade. »

Au delà du pays du mouton, toute l'activité agricole saharienne est cantonnée dans les *oasis*, dont la végétation luxuriante contraste si heureusement avec le désert voisin. « Trois étages de verdure s'y superposent, dit DEMONTÈS ; sur le sol, les cultures maraîchères et de petits champs d'orge ou de blé ; à quelques mètres du sol, la frondaison des arbres fruitiers (abricotiers, figuiers, grenadiers, orangers, etc...) plus haut encore, les feuilles de palmiers dont l'ombre tutélaire protège les autres plantes. »

Il faut faire une mention spéciale pour les *palmeraies du Sud Cons-*

tantinois (Oued-Rhir, Zibans, Sous) productrices de dattes fines de la variété « Deglet-Nour », alimentant un commerce d'exportation portant sur un tonnage moyen annuel de 150.000 quintaux. De nombreux forages artésiens font la richesse de la région, mais ceux établis dans les points bas (M'Raïer, Ourir), ont entraîné des dépérissements, dans les régions plus hautes (Touggourt, Tamerna). Une réglementation et un aménagement hydraulique rationnel sont indispensables.

La superficie des oasis ne dépasse pas 50.000 hectares sur les 250 millions d'hectares sur lesquelles s'étendent les Territoires du Sud.

LE MILIEU ÉCONOMIQUE

Dans ce vaste ensemble aux possibilités si diverses et si nuancées, où nous passons à quelques dizaines de kilomètres de distance des zones basses, au niveau de la mer dont le climat est tempéré par la Méditerranée qui les borde, aux régions d'altitude à hivers rudes, à printemps tardifs, zones sur lesquelles l'influence du désert, peu éloigné, se fait parfois en outre durement sentir, nous trouvons les productions les plus variées.

Mais il importe de le marquer dès la partie liminaire de cet exposé, ces productions sont le fait presque exclusif de la colonisation française. En 1830, l'Algérie nourrissait mal moins de 3 millions d'habitants, l'Algérie qui avait fourni à Rome l'anone et l'huile, était un pays aux famines périodiques, l'Algérie devenue maintenant le jardin des Hespérides de la France, n'avait pas 500 hectares d'orangers, et la vigne, son essentielle richesse d'aujourd'hui, était réduite à quelques pieds de Muscat et d'Amar-bou-Amar, dans les jardins des Baranis. Les zones aujourd'hui les plus riches entretenaient mal un mauvais bétail, et le troupeau ovin, pour lequel aucune exportation n'avait lieu, semble n'avoir été alors qu'au tiers de son effectif actuel.

Les zones aujourd'hui les plus riches étaient une brousse de lentisques, de palmiers nains et de jujubiers. Dans le Sahel, le plateau de Staouéli sur lequel, à la fin de juin 1830, BOURMONT installa son armée, était une steppe sans la moindre culture, et aujourd'hui le groupe de palmiers historiques qui demeurent dans la cour de la Trappe sont les derniers témoins de cette époque et sont piqués maintenant au milieu des vignes les plus riches, d'orangers, de cultures de primeurs et de légumes qui montrent la continuité de l'effort français, effort des trappestes d'abord, effort ensuite poursuivi par une magnifique lignée de colons. La Mitidja n'était qu'un marécage, dont désespéraient les premiers dirigeants d'alors et dont s'éloignaient les indigènes eux-mêmes. Et ce « pays de la mort jaune » est devenu, par la magnificence de l'effort de la colonisation, les orangeries de Boufarik, les vignobles de Rouïba,

les plantations si variées de l'Arba, les cultures de géranium, de jasmin et de tabac de la partie occidentale, et les zones du littoral de Guyotville qui n'étaient qu'une brousse végétant sur un sable que nos premiers administrateurs jugeaient si peu fertile qu'ils n'envisageaient d'implanter là que des villages de pêcheurs, est devenu l'une des plus belles régions de primeurs du monde, une zone dans laquelle la valeur de l'hectare de terre atteint et parfois dépasse 1 million.

La plaine de l'Habra et de la Macta n'était qu'un cloaque, et Perréaux a d'abord été un cimetière de colons, et nous en avons fait une splendide orangerie, la plaine de Bône n'était qu'un marécage dans lequel s'enlisaient les bovins, et elle est devenue l'un des grands centres de production de tabac du monde, une zone de beaux vignobles et de plantureux jardins, le Sersou qui alimente en blé nos grands centres et est devenu grande région de production de lentilles, n'était qu'une zone pastorale dans laquelle venaient transhumer les troupeaux des Larbaa, ces troupeaux dont nous avons réussi à maintenir et à accroître même les effectifs tout en affectant à la colonisation génératrice de richesses, partie de leurs anciens terrains de parcours.

Et dans le Sahara même, c'est la Colonisation qui a créé l'actuelle richesse. Le forage des puits artésiens de l'Oued Rhir, œuvre française par excellence, a permis de faire surgir sur le sable hier infertile, cet immense chapelet de palmeraies, où à Djama, à M'Raïer, à El Arfiâne, à Touggourt mûrissent les belles dattes de Deglet en Nour, ces dattes d'exportation, qui ont procuré cette année à cette région il y a un siècle, partie intégrante d'un Sahara vide et désertique, 1 milliard de richesse, et a fait que les indigènes rapidement enrichis, achètent à Biskra, à Batna et à Constantine des immeubles urbains et paient, dans les palmeraies les bons palmiers en production, jusqu'à 20.000 francs le pied dont ils tirent actuellement, au prix officiel des dattes, jusqu'à 4.000 et 5.000 francs de bénéfice annuel par arbre.

L'œuvre est donc splendide, et la France a le droit de le proclamer, car réalisant cette œuvre elle a permis à la population indigène de quadrupler en nombre, et tout en augmentant ainsi, de ne plus connaître les famines. Et cela c'est la conséquence de l'implantation en Algérie de ces productions agricoles nouvelles, c'est la conséquence de la création de son vignoble et de ses orangeries, création qui a été faite sans que la production totale de céréales panifiables fléchisse.

Et si en année normale l'Algérie nourrit de son blé sa population, elle est devenue un grand pays exportateur de denrées agricoles. La notion de l'Algérie pays minier, de l'Algérie pays exportateur de phosphates est dans tous les esprits et c'est justice, mais ce qu'il importe de bien retenir, c'est que ces richesses minières ne sont pour le pays que peu de chose, à côté de ses richesses agricoles. En effet, dans le total

des exportations de nos trois départements nord-africains, les produits agricoles contribuent, en année normale, pour 85 % de la valeur totale, et les produits de la vigne font 60 % de ce pourcentage. La richesse algérienne est donc essentiellement une richesse viticole, et par conséquent elle est le fait, non pas de l'activité musulmane, mais du génie de la colonisation.

La vigne et le vin.

En passant rapidement en revue ces productions, nous donnerons logiquement à la principale d'entre elles, la vigne, la première place, cette vigne qui est pour l'Algérie ce que le coton est à l'Égypte, le tabac au Kentucky, la laine à l'Australie, le blé au Canada.

C'est le vin exporté en France qui, aux cours actuels, procurant à l'Algérie des recettes de l'ordre de 7 à 8 milliards, lui fournit les crédits dont elle a besoin pour acheter l'outillage nécessaire à ses fermes, les tissus que réclament les indigènes, le sucre et le café qu'ils désirent.

Mais par ailleurs, la vigne fournit à l'intérieur du pays un mouvement de capitaux qu'aucune autre activité ne donne. Sa culture détermine en achats de toutes sortes et en salaires, des dépenses annuelles de l'ordre de 6 à 7 milliards, et l'on pourrait ici transposer l'adage « quand le bâtiment va, tout va », et dire qu'en Algérie, quand la vigne est prospère, tout va. C'est faire preuve de vues bien étroites et tendancieuses que d'accuser la colonisation viticole d'affamer le pays en ayant planté de la vigne au lieu de cultiver du blé. Un hectare de vigne fait distribuer en moyenne en salaires, suivant les régions, de 10.000 à 15.000 francs, salaires dont la plus grosse part va aux indigènes.

Si les terres complantées étaient assolées en cultures annuelles, elles ne seraient productrices que de la moitié de ces chiffres en salaires, et il manquerait dans les gargoulettes où les musulmans mettent leur argent, près de 2 milliards par an, somme qui leur permet de se vêtir et de se nourrir. La vigne, dans ce pays, est donc devenue, quelque paradoxal que cela puisse paraître, la culture nourricière par excellence du monde indigène musulman.

Enfin, la vigne a été pour l'Algérie la culture type de fixation du peuplement européen, et si elle possède de grands domaines viticoles, elle demeure pourtant un pays dans lequel la petite propriété viticole est fréquente. Plus de 36 % des viticulteurs algériens exploitent moins de 5 hectares, tandis que 6 % seulement, par contre, récoltent sur plus de 100 hectares.

En 1945, alors que 23.474 viticulteurs ont récolté 9.500.137 hectolitres sur 341.098 hectares, la surface moyenne par propriétaire ne ressort que pour toute l'Algérie qu'à 14 hect. 1/2, et la production par viticulteur à 400 hectos.

Aussi, sur les 25.000 familles de colons algériens, près de la moitié sont des familles de petits viticulteurs. C'est la vigne qui les a fixés au sol, c'est la vigne qui les fait vivre, et ce sont les petits viticulteurs que groupe notre admirable réseau de caves coopératives.

La vigne est donc essentielle pour la vie algérienne, pour le maintien de ses échanges, pour la vie des indigènes, par la masse de salaires qu'elle distribue, et essentielle pour la petite colonisation dont elle assure le maintien.

Et cette splendide richesse est en voie de perdition. Le vignoble qui partant de 28.000 hectares en 1881, était passé en 1890 à 110.000 hectares, produisant 3.331.000 hectos, en 1900 à 150.000 hectares donnant 5.635.000 hectos, en 1910 à 152.000 hectares. Il entraît alors dans la période pendant laquelle la quasi-totalité des premières plantations a été reconstituée après avoir été, comme le vignoble métropolitain, détruites par le phylloxéra. Et il s'est brusquement étendu sous la menace de la loi viticole qui a fait planter hâtivement de 1927 à 1932, près de 150.000 hectares.

En 1938, l'Algérie a ainsi récolté sur 398.000 hectares, mais depuis lors, la chute est verticale, et en 1945, la vendange n'a porté que sur 341.000 hectares, et enregistre d'année en année une régression continue de ses plantations : 391.000 hectares en 1940, 374.000 en 1941, 369.000 en 1942, 354.000 en 1943, 350.000 en 1944, 341.000 en 1945, et fait éminemment grave, la presque totalité de ce vignoble est sénile ou dépérissant. L'absence de soins pendant la guerre, l'insuffisance d'engrais, la pénurie de soufre et de sulfate de cuivre qui a accru la virulence et les dégâts de l'oïdium et du mildiou, des attaques du court-noué, font que partout les souches fléchissent ou disparaissent et les rendements s'effondrent.

Les récoltes de 1932, 1933, 1934, de 18, 16 et 22 millions d'hectos sont du domaine du passé.

L'Algérie au vignoble anémié ou dépérissant ne produit plus que des vendanges de l'ordre de celles de la période 1914-1928, alors que les plantations oscillaient autour du chiffre de 200.000 hectares. C'est dire que la productivité de la vigne algérienne s'est réduite à l'hectare de 35 % par rapport aux années normales. C'est donc toute l'économie de la viticulture qui est atteinte, et c'est tendre pour que les frais des exploitants soient couverts, à une production de vin trop cher, alors qu'il faudrait dans notre économie actuelle pouvoir, par de gros rendements, diminuer les prix de revient pour vendre meilleur marché aux consommateurs. Et fait grave, une grosse partie des 150.000 hectares plantés hâtivement de 1927 à 1932 sous la menace de la loi viticole, qui eussent dû avoir normalement trente ans de vie et durer encore dix à quinze ans, dépérissent du fait de leur plantation trop rapidement faite,

avec des défoncements insuffisants et des plants souvent médiocres, quand ce n'était pas comme en beaucoup de points d'Oranie, des plants français. L'emprise du dépérissement sur le vignoble va donc encore s'accroître dans les années à venir, et la chute des superficies en production et des rendements, s'accélérer.

Et puisque le maintien du vignoble algérien est une nécessité pour les exportations du pays, pour sa main-d'œuvre indigène, pour le maintien de sa petite colonisation, comment sortir de cette crise?

La replantation s'impose, et s'impose rapidement, mais c'est pour l'Algérie un effort financier considérable. Normalement, la viticulture algérienne va avoir à enfouir en cinq ans en défoncements et en plantations nouvelles, une somme de l'ordre de 25 milliards de francs.

Au cours actuel il faut prévoir des investissements annuels de 5 milliards, chiffre énorme, charge très lourde pour la colonisation. Certes, les réserves de la propriété qui n'ont pas encore complètement fondu y pourvoiront en partie, mais si l'Algérie dispose actuellement de 26 à 27 milliards de dépôts, il s'agit de dépôts de toute origine, industriels, commerciaux, agricoles. Quelle est la part des dépôts d'origine agricole?

Quelle est parmi ceux-ci la part de ceux qui proviennent de la propriété viticole? Le cinquième peut-être. La première annuité de reconstitution est donc possible à trouver. Mais les autres, pourront-elles être fournies? Cela n'est pas probable, et déjà pour la reconstitution l'appel au crédit apparaît et la dette hypothécaire algérienne qui avait fondu, se reforme à nouveau.

C'est ensuite sur le plan technique que se pose le problème, et l'Algérie, comme la France, comme la Tunisie, comme le Maroc, manque d'appareils de défoncement, et manque de plants. L'insuffisance de fourniture de gros tracteurs à l'Algérie, l'état du parc de matériel agricole rend difficile les défoncements en superficies suffisantes.

Par ailleurs, le manque de plants paralyse la reconstitution et a fait monter les prix des plants chez les pépiniéristes à des prix astronomiques : 15.000 à 18.000 francs le mille. C'est pour replanter une dépense de l'ordre de 60.000 francs par hectare, quand on peut se procurer ces plants.

En 1943, l'Algérie n'avait que 385 hectares en vigne à bois et en pépinières. La législation viticole assimilant ces plantations aux vignes à production de fruits, la création de nouveaux champs de pieds-mères était interdite.

L'ordonnance du 22 mars 1943 complétant l'article 87 du Code du vin, a rendu licite la plantation de 1.200 hectares de pieds-mères en Algérie et organise le contrôle nécessaire des pépinières, mais les difficultés de tous ordres rencontrées par les planteurs, font qu'au 1^{er} juin 1945, 950 hectares seulement sur les 1.200 prévus étaient plantés, dont

264 hectares en 41-B, 254 en Rupestris du Lot, 189 en Richter 99, 73 en 3309, le 216-13, les R 31, R 57 et R 110, le Vivet 15, le 420 A, le 161-49, le 150-15 et quelques autres plants se partageant les 168 hectares restants.

Les pépinières doivent donc, à brève échéance, pouvoir fournir par an 100 millions de plants et permettre de replanter en Afrique du Nord 25.000 à 30.000 hectares. L'effort de replantation de l'Algérie (la Tunisie et le Maroc devant être parties prenantes pour une quote-part), sera donc limité et compensera insuffisamment le vieillissement des souches, les dépérissements et les arrachages qui en seront la conséquence.

Mais il convient aussi d'orienter la reconstitution. Nos vins ont été largement appréciés, appréciés par la France à laquelle ils sont nécessaires comme vins de consommation courante, comme vins médicinaux pour les coupages indispensables des vins du Languedoc, et comme mistelles, appréciés aussi par les troupes anglaises et américaines, et les soldats alliés peuvent, de retour chez eux, faire pour ces vins une réelle propagande. Nous devons donc viser, en effectuant des plantations nouvelles qui orientent et engagent pour un quart de siècle notre production, à maintenir et même augmenter la qualité des vins d'Algérie. L'introduction dans l'encépagement d'un vignoble d'une quote-part de plants fins à faible production : Gamay, Pinot, Morastel, s'impose donc, dût le rendement moyen à l'hectare fléchir légèrement.

Enfin, il nous faut de plus en plus, pour abaisser nos prix de revient, prévoir une réduction de la main-d'œuvre et un essor de la culture mécanique. L'écartement des plants dans les plantations nouvelles devra se faire avec cette préoccupation, de telle sorte qu'à l'avenir le passage des tracteurs soit partout possible.

Puis, songeant toujours à nos exportations, il convient de donner à nos vinifications spéciales, aux mistelles et vins de liqueur, une place plus grande. Les Grenaches, les Alicantes, les Muscats algériens jouissent maintenant d'une excellente cote et peuvent être de très bons produits d'exportation. Dans les encépagements des vignobles reconstitués, il faut faire la place aux plants qui les produisent : Grenache, Alicante, Muscat d'Alexandrie notamment.

Et puis il n'est pas impossible de songer que l'agriculture musulmane pourra avoir un jour sa place dans la production algérienne.

Les vignes aux mains des musulmans représentaient avant la guerre 4,6 % du vignoble algérien total, couvrant 20.000 hectares, et la région de Mostaganem compte à elle seule 13.800 hectares exploités par près de 8.000 familles de fellahs, aussi les secteurs d'amélioration rurale de cette région ne négligent-ils pas la vigne dans leurs programmes.

Notre vignoble algérien, européen et musulman représente encore ainsi avec les 350.000 hectares, un potentiel de production argent qui

dépasse celui de 3.500.000 hectares de céréales. Ne pas aider à sa reconstitution, ne pas hâter celle-ci serait un crime, et l'on peut s'étonner que les rédacteurs du plan Monnet aient négligé de se pencher sur ce problème algérien. Le vignoble est en France une des richesses essentielles du pays. Pour l'Algérie, il est la base de sa vitalité. Certes, la reconstitution du vignoble algérien est surtout du domaine de l'activité de la colonisation, il est parfois du ressort de la grande propriété, mais cette colonisation, cette grande propriété font vivre trop d'indigènes, apportent aux inscrits maritimes de Provence, de Rouen ou de Dunkerque trop de salaires, apportent à l'Algérie trop d'impôts et de taxes pour qu'on n'aide pas à la reprise de cette viticulture, pierre angulaire de la vie économique du pays.

*
* *
*

Les céréales.

Si la vigne est par excellence la culture de la colonisation française celle qui, par l'exportation des vins, fournit à l'Algérie les crédits et les ressources dont elle a besoin pour s'outiller et poursuivre sa mise en valeur, les céréales demeurent par contre la culture musulmane classique et la culture nourricière du pays, celles-ci étant pour leur plus grande part, consommées sur place, et ne donnant lieu qu'à un mouvement réduit d'exportation.

Et dès que l'on quitte les plaines sublittorales où la vigne et les orangeries sont maîtresses, dès que dans ce pays qui n'est qu'un immense socle montagneux, on trouve l'altitude, les cultures arbustives riches disparaissent et le blé ou l'orge s'installent. Ils s'installent alors, non en fonction de l'altitude, orge ou blé venant l'un et l'autre quel que soit le niveau des terres au-dessus de celui de la mer, mais en fonction de la pluviométrie. L'hysohyète, de 400 mm sépare ainsi en gros les deux cultures, le blé s'érigeant en maître incontesté là où la pluviométrie atteint 400 mm, n'étant plus qu'une culture possible mais risquée entre 300 et 400 mm, l'orge au contraire, céréale prolétaire, s'étendant dans les zones de 250 à 300 mm et y réussissant.

Mais en tout état de cause, l'altitude qui est celle des grandes plaines à céréales, crée à l'Algérie des difficultés spéciales que ne connaissent pas les céréaliculteurs tunisiens, dont les régions cultivées en blé sont toutes à altitude modeste, difficultés dues au climat et surtout à la rigueur des hivers et à la tardivité des printemps. Sur les plateaux sétifiens, dans le Constantinois, dans le Sersou du département d'Alger, ou aux Maatifs en Oranie, les gelées de mai sont fréquentes et parfois brûlent les épis déjà sortis des gaines foliaires. Ces difficultés sérieuses

font qu'économiquement il est contre-indiqué de faire dans ces zones gélives des frais de culture trop élevés. La culture du blé pour être payante doit, dans ces zones, limiter ses dépenses, une gelée de mai faisant parfois tomber verticalement les rendements, aussi bien ceux d'une culture chère et très poussée que ceux d'une culture moins intensive. La position d'équilibre économique est parfois difficile à trouver, et l'aspect économique du problème complique singulièrement son aspect technique.

De 1901 à 1939, les superficies cultivées en céréales en Algérie sont en progression marquée. De 2.860.000 en 1901, les surfaces emblavées sont passées à 3.100.000 en 1939, et cette progression semble un paradoxe puisque pendant le même temps, les vignes et les orangeries ont gagné sur les terres assolées, donc sur des sols emblavés normalement en céréales, sensiblement 300.000 hectares.

Ce phénomène s'explique pourtant aisément si l'on remarque que les cultures se sont déplacées. Les céréales ont, au fur et à mesure que la vigne et les orangeries les refoulaient des plaines sublittorales, glissé sur les zones pastorales et, fait également digne de remarque, le troupeau refoulé de la zone nord marginale des régions pastorales, ne s'est pourtant pas réduit en nombre.

Et ce qu'il convient de noter, c'est que ce refoulement du mouton par les céréales, des céréales par les cultures arbustives et la vigne, qui ne réduit pas le troupeau ovin, n'a pas réduit non plus la production du blé, malgré sa transposition des zones riches et bien arrosées des plaines sublittorales, aux zones plus sèches des plateaux, et c'est ainsi que la moisson de blé qui était en 1901 de 8.900.000 quintaux, s'élevait en 1939 à 12 millions.

Mais, fait important aussi, cet accroissement est l'œuvre de la colonisation presque seule. Chez les Européens l'accroissement est ininterrompu, doublant la superficie, passant de 300.000 à 600.000 hectares, tandis que chez les Musulmans la courbe des surfaces traduit une réduction jusqu'en 1925, suivie par une légère augmentation, faisant passer de 1901 à 1939 les superficies cultivées par eux en blé, de 1.020.000 hectares à 1.060.000.

Dans ce cadre général, les Musulmans qui fournissaient en 1901, 82 % du blé dur produit en Algérie, ne concouraient plus en 1925 qu'à 55 % de cette production, relevant pourtant ce chiffre à 62 % en 1939. A ces trois dates : 1901, 1925, 1935, la quote-part de la production européenne s'élevait par contre de 18 % à 48 % et se tassait à 38 % en 1939.

En ce qui concerne le blé tendre, culture nettement européenne, à laquelle ne viennent que lentement les Musulmans, elle a plus que doublé depuis 1901, passant en trente ans de 1.700.000 quintaux en 1901 à 4.200.000 en 1931, et atteignant encore pour la dernière récolte, près de

2.300.000 quintaux, et les variations de production sont moins accentuées que pour le blé dur. En effet, l'importance de la culture européenne pour le blé tendre, en fait une culture généralement bien exécutée sur de bons labours, qui atténuent les chutes de rendements dues à l'aridité de certains printemps.

Les faits qui se dégagent de l'examen des chiffres statistiques se caractérisent donc par la stagnation de la production indigène et le progrès très net de la production européenne. Si l'on tient compte en outre que ce sont les colons beaucoup plus que les indigènes qui réalisent la commercialisation du blé, et que celle-ci, dans la proportion de 70 % du total, est l'œuvre des colons, on arrive alors à conclure que la production musulmane contribue bien à alimenter la masse des fellahs, en production autarcique familiale, mais que c'est la colonisation qui assure l'alimentation de la population des villes. Sans elle, la masse des ouvriers des villes n'aurait pas son pain. Et c'est là ce qu'il faut honnêtement reconnaître. Et c'est seule l'augmentation de production depuis un quart de siècle, augmentation qui relève de la production européenne et non de la production indigène, qui permet de faire face aux besoins alimentaires sans cesse croissants de la population musulmane. Vouloir dans ce pays ne pas reconnaître ce qu'a été dans le passé, et ce qu'est dans le présent l'œuvre de la colonisation serait un crime.

Mais pour l'avenir, les indigènes restent les principaux propriétaires des terres à blé, car il faut détruire la légende de la colonisation ayant pris les terres aux indigènes, alors qu'ils n'ont généralement pris que des broussailles et des marécages qui ont été payés aux vendeurs leur juste prix. Il importe, si l'on veut équilibrer la production et les besoins, qui vont chaque année exiger 200.000 à 300.000 quintaux de céréales panifiables de plus, d'arriver par une amélioration du travail et de la technique des fallahs, à accroître rapidement les rendements de la propriété musulmane, car pour la décade 1930-1939, les rendements moyens qui s'établissent en blé dur pour les colons à 8 quintaux 62, tombent pour les indigènes à 4 quintaux 07, et en blé tendre s'établissent pour les colons à 8 quintaux 60, et se réduisent en propriété musulmane à 5 quintaux 06. Et c'est justement à cette œuvre d'amélioration des rendements de la propriété indigène que se sont attelés les *Secteurs d'Amélioration rurale*, qui cherchent à faire pour les indigènes, par l'intervention des Sociétés Indigènes de Prévoyance, les labours profonds au tracteur, laissant aux fellahs, par l'utilisation de leurs attelages et de la main-d'œuvre familiale, le soin des façons superficielles, formule heureuse qui maintient la famille musulmane dans le cadre de ses traditions et de l'exploitation de son petit domaine, formule évidemment moins progressive, moins poussée techniquement que celle qu'en beaucoup de points a adoptée le Maroc dans ses secteurs de modernisations du paysa-

nat, et qui s'apparente de très près à la formule kolkhosienne, mais qui, contrairement à ce qu'a voulu l'Algérie, fait moins état de la psychologie des hommes, et de la mystique de la petite propriété individuelle si chère aux Fellahs de nos plaines céréalières, ces fellahs si proches par leur psychologie terrienne et leur attachement à la glèbe de nos paysans français.

A côté du blé, culture dans laquelle, à côté des indigènes principaux propriétaires de terres, la colonisation joue son rôle, l'orge est par contre restée culture essentiellement musulmane. A côté de 1.100.000 hectares cultivés en moyenne par les indigènes, la colonisation ne sème en orge que 150.000 hectares en moyenne, mais là aussi, la qualité de la culture européenne se traduit par les rendements qui, pour la décade 1930-1939, s'établissent à 9 quintaux 44 en production européenne, contre 5 quintaux 32 en culture indigène, en progression sur la décade précédente où ils n'étaient que de 4 quintaux 78.

L'évolution générale heureuse de la culture des céréales en Algérie, évolution marquée par une augmentation des rendements beaucoup plus accentuée en culture colon qu'en culture arabe, est due à deux facteurs essentiels : la technique de la préparation du sol, avec la généralisation de la méthode des préparés : assolement biennal, labours profonds et multiples recroisements, et les sélections de blés et d'orges bien adaptés aux sols et au climat d'Algérie.

Le premier de ces facteurs a été mis en œuvre par la science et les observations des colons, par l'extension à l'Algérie des techniques tunisiennes, adaptation elle-même, mais adaptation mûrie et raisonnée et non copie servile des méthodes de Dry Farming américain, faite par les colons tunisiens de la Medjerda et ceux de Bel-Abbès. Cette adaptation fait utiliser en Afrique du Nord du matériel puissant conçu pour l'Amérique, et mis au point pour nos terres et notre climatologie. Dans ce domaine, nos laboratoires, il faut le reconnaître et le regretter, n'ont qu'un rôle mineur, et c'est l'imagination créatrice des colons, c'est leur méthode rigoureuse, qui ont joué le rôle essentiel.

En ce qui concerne au contraire les sélections de céréales, l'Algérie doit en fait à peu près tout à l'État. Ce sont nos laboratoires, nos savants modestes de Maison-Carrée, les Trabut, et surtout les Ducellier et les Laumont, qui avec des moyens d'une modestie qui fait rougir de honte et très inférieurs pendant longtemps à ceux de la Tunisie et du Maroc et infimes en comparaison de ceux des pays étrangers, ont fait une œuvre grandiose. Admirables génétistes, ils ont, reprenant les travaux de Schribaux et de Bœuf, créé par sélections et hybridations des milliers de lignées, isolé, sélectionné ces lignées, multiplié celles qui étaient méritantes, et doté la céréaliculture algérienne d'un magnifique matériel végétal qui assure notre pain, et sans lequel l'Algérie eût connu la

famine. On ne proclamera donc jamais assez l'importance de l'œuvre accomplie, œuvre dont la réussite et l'ampleur ont laissé pourtant mourir pauvres ceux qui l'ont conçue et réalisée.

Autres productions végétales.

A côté des céréales et du vin, qui par leur production de masse conditionnent la vie économique de l'Algérie, les autres produits agricoles, quelles que soient leur noblesse et leur qualité, ne sont, pour le pays, que secondaires, et pourtant les *agrumes* avec des récoltes de l'ordre du million de quintaux qui, dans cinq ans, seront du fait des plantations jeunes et non encore productives, sensiblement doublées, représentent dès à présent une valeur de production annuelle de l'ordre de 2 milliards 500 millions de francs qui dépasse celle de tous les minéraux.

Les *dattes* ou les *primeurs* sont un facteur de richesse qui dépasse celle qu'apportent les phosphates : et l'Algérie tire de plantes industrielles comme le *tabac* de quoi approvisionner, en année normale, ses fumeurs, mais aussi à se créer par ses exportations, des devises. Toute l'économie rurale musulmane de la plaine de Bône a été ainsi améliorée par la mise au point de la culture et de la vente du tabac faite par les coopératives.

Par ailleurs, les plantations d'*oliviers*, si elles n'ont ni l'importance, ni le fini de la technique de celles de la région sfaxienne, sont pour les zones montagneuses et les plateaux une richesse stable, enracinant au sol l'indigène et lui fournissant la matière grasse nécessaire à son équilibre alimentaire. Le nombre des arbres en production croît d'année en année, et dans le Hodna un effort s'affirme dans le cadre de la politique agricole musulmane pour y créer de vastes plantations.

Quant aux *primeurs*, produites sur les terres bien exposées des Sahel et dans des zones d'élite des plaines sublittorales, elles demeurent une des grandes richesses de ces zones. Dans les périmètres irrigués du Chélif, les cultures légumières s'étendent aussi et font tache d'huile. Elles gagnent peu à peu l'agriculture musulmane avec un caractère, il est vrai, quelquefois trop spéculatif, s'orientant trop souvent vers des cultures, comme les pastèques, les melons, les nioras, les patates douces, qui ne demandent que quelques semaines de travail, sans qu'on ait là l'équilibre cultural réalisé dans le cadre de l'activité européenne primeuriste, par les jardiniers du littoral algérois qui, de Guyotville à Fort-de-l'Eau, arrivent, par leur labeur continu, à tirer en treize ou quatorze mois, quatre récoltes d'une même parcelle.

Dans le Sud la *datte* reste la grande richesse de zones limitées certes, mais de production intense, et il convient de souligner que l'oued Rihr,

de Biskra à Touggourt, s'affirme comme une zone d'élite pour la production des beaux fruits d'exportation.

Cette région constitue, comme dans le domaine du vin la côte de Dijon à Beaune, ou Sauternes, Saint-Émilion en Bordelais, ou les côtes du Rhône, un territoire étroit et limité sur lequel seulement les hautes qualités sont atteintes. On ne peut faire n'importe où la belle datte de Deglet En Nour, et les territoires de Djama, de M'Raier, des Zibans, sont pour l'Algérie des zones de crus et ont contribué à faire rentrer cette année dans le Sud plus d'un milliard de richesse pour laquelle les musulmans ont été, pour une large part, partie prenante puisqu'ils possèdent la presque totalité des 230.000 palmiers du Sud.

L'Algérie a donc incontestablement, depuis cinquante ans, réalisé dans le cadre de ses productions végétales, une œuvre considérable. Elle a créé son vignoble, elle a planté ses vergers, elle a dégagé la technique culturale des terres à blé des plateaux.

La fin du ^{xix}e siècle et le début du ^{xx}e ont été ainsi pour elle l'ère de la mise au point des techniques, dans la production végétale.

La production animale.

Mais au milieu de cet immense effort, la production animale est restée négligée. Certes, des colons hardis ont bien conçu et tenté des améliorations, mais les échecs enregistrés ont été parfois douloureux. Aussi avec la mise en eau des barrages, n'est-ce ce pas maintenant vers les spéculations zootechniques que permettent les cultures de luzerne, de sorgho, de trèfle d'Alexandrie que doit porter l'effort, et l'Algérie ne doit-elle pas entrer maintenant dans l'ère de la mise au point de l'élevage et des spéculations animales?

Comme en France, mais à un degré moindre, le *troupeau ovin* rétrograde, mais il reste la grande richesse indigène, richesse dans laquelle la colonisation n'est que, d'une façon infime, partie prenante puisque, d'après les statistiques d'avant-guerre (1939), les Musulmans possédaient 6 millions d'ovins sur un troupeau total de 6.400.000. C'est donc dire qu'à l'heure actuelle, la richesse musulmane en troupeaux est de l'ordre de 10 milliards de francs. Que l'amélioration de ce troupeau soit lente, que l'effort à faire demeure considérable, nul n'en disconvient, mais la réussite est liée à la multiplication des points d'eau, œuvre qui incombe à l'Administration, et à la mise au point des méthodes zootechniques et alimentaires qui sont celles du ressort des éleveurs eux-mêmes, éleveurs dont le fatalisme, l'attachement aux traditions pastorales ancestrales freinent trop souvent, hélas! les efforts louables de nos dévoués vétérinaires du Service de l'élevage.

Les *bovins*, eux aussi, relèvent en grosse majorité de l'agriculture

musulmane, puisque sur un effectif de 886.000, 769.000 appartiennent aux indigènes. Le troupeau algérien n'a donc qu'un potentiel actuel de production laitière qui n'atteint pas 150 millions de litres de lait par an, soit 7 à 8 centilitres de lait par habitant et par jour. Sur ce point, la situation de l'Algérie est tragique puisque dans les grandes villes l'alimentation en lait demeure mal assurée, même pour les enfants et les malades. L'importation des vaches laitières Schwitz, tarentaises, comtoises, montbéliardes est coûteuse, et l'exploitation de ces bêtes importées se heurte aux ravages de la piropasme et de la fièvre aphteuse. La taxation du lait à un prix non rémunérateur n'incite pas les nourrisseurs à étendre leur activité.

Les bœufs, malgré leur petit format, sont de bons travailleurs, leur poids de 300 kilos en moyenne en fait de médiocres fournisseurs de viande.

La cavalerie d'Algérie représente un effectif d'un peu plus de 200.000 bêtes, dont les indigènes en possèdent 151.000, à base de sang barbe, auquel s'est mélangé le sang arabe et anglais, et sur les Hauts Plateaux le sang breton donnant, avec les croisements rustiques barbe breton, de bons chevaux de trait.

A cet effectif de chevaux s'ajoutent 220.000 mulets et 350.000 ânes dont la rusticité est précieuse sous ce climat difficile.

* * *

De cette rapide revue se dégagent, semble-t-il, deux idées maîtresses : D'abord l'importance considérable laissée dans ce pays à l'agriculture indigène, importance que traduit nettement la répartition du sol — 4.600.000 hectares de terres melk, 2.700.000 hectares de terres arch — soit un peu plus de 7 millions d'hectares restent en effet soumis à la loi coranique, et 1.800.000 hectares francisés, mais possédés par les Musulmans font un total de près de 9 millions d'hectares exploités par les indigènes, alors que le bloc européen ne rassemble que 2.500.000 hectares.

Certes, la propriété européenne qui ne couvre qu'un peu plus du quart de la propriété totale, reste la grosse pourvoyeuse de richesses. Sur des terres fertiles, elle a presque partout créé cette fertilité. Ni la plaine de la Mitidja, ni la plaine de Bône, ni celle de l'Habra n'étaient cultivées avant l'arrivée des Français, c'étaient des marais et des grossiers pâturages, et elles sont devenues l'assiette de nos meilleurs vignobles et de plantureuses orangeries, le Sahel n'était que broussailles. Seules quelques zones à blé qu'occupe la colonisation étaient cultivées par les indigènes, mais mal travaillées. La colonisation, par son potentiel

actuel de production de 10 à 12 milliards de vins, de 2 milliards de fruits, par l'augmentation des rendements de blé a donc, sans que l'indigène ait vu se restreindre sa production, créé pour le pays une énorme richesse créée pour l'indigène des possibilités de travail et de ressources dont il profite largement.

Et c'est là la deuxième idée maîtresse qu'il convient de souligner, c'est que la colonisation a été pour ce pays le ferment de progrès, et que c'est à son contact, et seulement à son contact qu'a progressé l'agriculture musulmane. L'essor réalisé dans la culture du tabac l'a été grâce à l'impulsion donnée par les planteurs français groupant avec eux les indigènes; les organisations pour la vente coopérative des oranges dont profitent les Musulmans possesseurs des jardins au même titre que les Français, sont le fait de la colonisation, et même dans le domaine de l'élevage, les progrès, quelque minimes qu'ils soient, qui ont été accomplis viennent de la propriété européenne et des efforts de l'Administration; enfin, si dans l'oued Rihr, la masse des propriétaires de palmiers est formée de Musulmans, leur richesse vient des efforts de l'Administration française et de l'exemple de hardis planteurs français qui ont su risquer avec la foi dans l'avenir, qui ont connu des heures difficiles, mais qui ayant réussi ont été pour les phœniculteurs indigènes, un exemple heureusement suivi.

LE MILIEU SOCIAL

C'est donc dans ce climat d'association, qui a été et doit demeurer véritablement fraternelle entre la colonisation et le monde rural musulman qu'il convient de jeter un rapide coup d'œil sur ce que sont les populations indigènes et la colonisation.

Et d'abord il convient de bien noter que si les caractères de ces populations demeurent dissemblables, bien que fortement interpénétrées dans leurs agricultures, c'est là en grande partie le fait de la situation juridique des terres qu'elles exploitent. L'agriculture musulmane qui exerce son activité sur près de 9 millions d'hectares, ne compte que 1.800.000 hectares de terres francisées; tout le reste demeure soumis au statut musulman, et 2.700.000 hectares de terres arch, terres collectives, 4.600.000 hectares de terres melk, terres de propriété individuelle, mais sur lesquelles l'indivision est fréquente, et parfois poussée d'une telle sorte que des centaines de copropriétaires ont des droits sur une parcelle, rendent très difficile des améliorations foncières permanentes, des créations de chemins, l'édification de bâtiments et même des défrichements et des épierrements. Le statut musulman freine tout progrès. La situation de la terre melk qui appartient souvent à 10, 20, parfois plusieurs centaines de copropriétaires indivis, puisqu'on a relevé sur

le centre de Victor-Hugo une parcelle de 18 hect. 61 a. 96 c. sur laquelle un propriétaire voyait ses droits de propriété définis pour $\frac{894.740}{17.517.712.800}$

ce qui ne correspondait, en cas de cessation de l'indivision, qu'à une superficie de quelques mètres carrés et une valeur de quelques centimes, fait que beaucoup de copropriétaires se désintéressent de leur terre, et que ceux qui l'exploitent ou l'occupent ont des droits trop réduits ou trop précaires pour y faire des investissements d'amélioration, et s'il s'agit de terres arch, qui ont le caractère de propriété collective dont le fonds appartiendrait à l'État et la jouissance à la tribu, sans qu'aucun membre de la tribu n'ait sur ces terres de véritables droits privés et n'exerce tout au plus qu'une occupation de fait, elles sont de valorisation beaucoup plus difficile encore.

Il y a donc, par suite du statut musulman, des étendues considérables de terres en Algérie qui demeurent stérilisées, et que le fatalisme musulman laisse dans leur état alors qu'à côté d'elles, sous le statut français, les terres soumises aux règles du Code civil peuvent être l'assiette d'améliorations permanentes. Ces améliorations, si la propriété française les réalise, l'agriculture musulmane ne le fait que beaucoup plus rarement.

Cette population algérienne est en croissance rapide. Si chez les familles qui rassemblent les 942.000 Européens la natalité reste forte, très différente de celle de la Métropole, c'est néanmoins sur la masse des 7 millions d'indigènes (6.201.144 au recensement de 1936), que l'augmentation est surtout rapide. Elle était de l'ordre de 200.000 âmes par an, et tend vers les 300.000.

Et cette augmentation massive pose au pays de graves problèmes. Si l'Algérie a des cultures riches, a des zones riches, a dans le double cadre européen et musulman quelques familles riches, l'Algérie dans son ensemble demeure un pays pauvre, parce que pays sans industrie et pays sans cadres suffisants, du fait surtout de la déficience musulmane. Elle n'a pas, en effet, au même titre que le Maroc et la Tunisie de vieilles familles musulmanes évoluées intellectuellement. Ce fait est traduit nettement par l'absence presque complète de jeunes Musulmans algériens sur les bancs de l'École nationale de l'Agriculture d'Alger, alors que de jeunes Marocains y ont tenu une place honorable, tandis que, par contre, les écoles de niveau peu élevé comme Philippeville et Témouchent, ont régulièrement des élèves indigènes. Et il faut reconnaître également que nos cadres français sont trop réduits, et qu'à chaque instant, pour créer et évoluer, il faut faire appel à la Métropole. Le manque d'hommes apparaît aussi dans le domaine de l'économie rurale comme un des maux majeurs du pays. Or, l'Algérie est en face du difficile problème de produire assez et d'accroître assez vite sa pro-

duction et ses exportations, pour faire vivre les couches nouvelles d'une population qui s'accroît de 250.000 consommateurs nouveaux chaque année, consommateurs qui, dans leur ensemble, sont, hélas, plus des bouches que des cerveaux, mais qui en tout état de cause, sont des hommes dont nous avons la charge, des hommes que nous devons élever moralement et intellectuellement certes, mais d'abord nourrir. Et c'est là le devoir majeur en face duquel se trouvent les Français d'Algérie. Deux solutions s'offrent à nous : accroître la colonisation et par suite la production et les moyens de travail donnés aux indigènes, ou axer l'effort sur l'agriculture musulmane.

C'était la première formule qu'avait adoptée de grands administrateurs républicains comme les CAMBON, les JONNART et les LUTAUD, et M. DE PEYERHINOFF, directeur de l'Agriculture et de la Colonisation a bien montré, dans son étude restée classique sur la Colonisation en Algérie, que parallèlement à la création de la colonisation française, la productivité du pays avait crû, et nous constatons objectivement sans aucune passion partisane, que, parallèlement à l'application de cette formule, la productivité indigène ne s'est pas réduite, que le standing de vie des Musulmans, loin de s'abaisser s'est non seulement maintenu, mais a augmenté toutes les fois qu'il y a eu de la colonisation à son contact, et que la population indigène a crû avec la rapidité et l'importance que nous dégageons plus haut. Tous les villages de colonisation prospères, ont vu, en trente ans, doubler ou tripler suivant les cas, et souvent accroître beaucoup plus encore leur peuplement musulman.

Dans le climat politique actuel cette formule pourtant n'est plus de mise. Les programmes de colonisation sont stoppés, et bien plus la propriété rurale européenne régresse depuis trois ans devant l'emprise indigène, de 10.000 à 12.000 hectares environ par an.

Cette colonisation était pourtant une œuvre bien française, et pendant tout un siècle avec le flux et le reflux de méthodes contradictoires souvent heurtées, elle s'avérait comme une œuvre à caractère dominant de la colonisation de peuplement, de colonisation d'allure démocratique, tendant à créer un ensemble de petites et moyennes propriétés rurales, œuvre d'importance considérable puisque après un peu plus d'un siècle, sur 2.400.000 hectares relevant en Algérie de la colonisation, 1.700.000 ont été créées par la colonisation officielle, la colonisation d'État, première entreprise semble-t-il d'économie dirigée, en une époque de libéralisme, l'État s'étant pendant près d'un siècle, fait entrepreneur de colonisation. Et cette entreprise d'économie dirigée les résultats la consacrent, malgré les ajustements nécessaires, comme un succès, puisqu'en 1856 l'Algérie ne comptait que 259.000 Européens dont 92.000 Français, et que ces chiffres sont devenus 830.000 Euro-

péens et plus de 620.000 Français, ce dernier chiffre n'étant atteint, il est vrai, que grâce au jeu de la naturalisation automatique. Certes, l'ensemble de cette population française n'est pas intégralement resté rural, mais à l'actif de la colonisation officielle il faut inscrire tous ces Français des villes, des malchanceux peut-être qui ont quitté la terre, sur laquelle l'attrait de la propriété les avait attirés, mais qui ayant échoué comme colons, sont restés néanmoins en Algérie et ont contribué à former utilement notre peuplement urbain qui manquait de cadres, qui manquait de contremaîtres, de comptables ou d'employés et les a trouvés parmi ces colons défaillants. Or, sans l'attrait de la propriété, beaucoup de ceux-ci ne seraient probablement pas venus en Algérie où ils sont malgré tout demeurés, et c'est à l'actif de la colonisation que figurent donc encore de ce chef ce que l'on pourrait enregistrer *sensu stricto* comme des échecs, échecs du point de vue rural, mais but atteint et succès, du point de vue du peuplement français total, du point de vue influence et rayonnement national, du point de vue constitution de cadres au pays, puisque ces colons ruinés ou déçus, car, il faut bien le dire, la colonisation n'a pas toujours été une cause d'enrichissement, ont contribué à fournir ensuite, après l'abandon de leurs lots, des cadres aux affaires commerciales et aux administrations d'Algérie. Et quand aujourd'hui l'Algérie en croissance manque d'hommes et de cadres, quand on a la certitude que d'ici une ou deux générations au moins le peuplement musulman mal évolué et à élites squelettiques ne pourra les fournir, est-il bien conforme au rayonnement français de stopper la colonisation? C'est ce à quoi ceux qui prennent contact avec l'Algérie doivent réfléchir.

Actuellement tout programme de colonisation étant stoppé, si bien même que les fils de colons de nos villages de colonisation, dont les familles sont installées sur des domaines trop réduits, quittent la terre et vont, pour pouvoir vivre, dans les villes tentaculaires, c'est sur l'essor du paysanat musulman que porte tout le programme d'augmentation de la production.

Il a été axé en Algérie sur l'œuvre des S. A. R. (Secteur d'Amélioration rurale). Comme le dit la notice du Gouvernement général de décembre 1946, le S. A. R. est une unité géographique et une unité économique dans le cadre du territoire, dans le cadre d'une S. I. P. (Société indigène de Prévoyance). Le S. A. R. groupe une centaine de cultivateurs, et sa surface varie de 300 hectares dans les zones à cultures arbustives, à 1.200 hectares dans les zones céréalières.

Le S. A. R. est dirigé par un chef de culture, et ses terres sont partagées entre les fellahs chefs de famille qui vivaient sur des terres insuffisantes ou n'avaient pas de terres.

L'Administration apporte aux fellahs des S. A. R. son aide en fai-

sant pour eux les labours profonds au tracteur et les groupe en familles pour leur faire faire, sous la direction du chef de culture, les façons superficielles, les fellahs conservent ainsi leurs attelages et leur économie rurale familiale. Déjà de nombreux S. A. R. ont été créés sur leurs terres. A l'automne prochain, les semailles seront faites sur les terres préparées selon la technique européenne.

Mais comme le souligne fort opportunément M. Truet, conseiller technique du Paysanat : « Pour que vive le S. A. R. et que s'améliore définitivement le paysan, chaque adhérent doit connaître parfaitement les buts à atteindre, les raisons des travaux à effectuer et la discipline à suivre, ainsi que son rôle dans l'organisme créé. Il doit être convaincu de la nécessité d'un effort soutenu et doit acquérir la volonté d'exécuter parfaitement son travail. »

Nous voilà donc reconduits, et c'est fatal sur le terrain humain et psychologique des problèmes. Aussi pouvons-nous dire, en conclusion, qu'en Algérie les problèmes techniques, s'ils sont complexes, peuvent toujours se mettre en équations simples et de solutions relativement faciles. Les colons l'ont montré. Ils ont constitué, malgré les difficultés de tous ordres, un des plus beaux vignobles du monde. Leurs jardins à orangers plantés depuis vingt ans l'ont été suivant une méthode très supérieure à celles des plantations précédentes des vieux jardins arabes de Blida. L'essor des cultures arbustives est remarquable, la technique de la culture du blé est maintenant bien au point, mais le problème humain et psychologique est à peine abordé. Comment faire vivre cette énorme masse musulmane dans son ensemble peu évoluée et sans cadre à côté de la colonisation française? Comment faire que l'élite intellectuelle et technique que la colonisation représente, comment faire que cette colonisation, dont l'effectif est à peine du dixième de l'effectif indigène a pourtant, depuis vingt-cinq ans, envoyé sur les bancs de notre grande École nationale d'Agriculture d'Alger, trois cents fois plus d'élèves que les Musulmans, encadre, sans heurts et sans préjudice des droits qu'elle tire de sa valeur intellectuelle, la masse musulmane et arrive à lui faire produire ce qui est nécessaire à sa vie, c'est là l'essentiel du problème algérien d'aujourd'hui et de demain.

En effet, si la terre une fois francisée demeure bien définitivement soumise aux règles du Code civil, l'indigène qui la possède conserve son statut personnel musulman.

Avec la polygamie qu'il garde, avec le régime successoral qu'il doit à son statut personnel, les dévolutions successorales mettent rapidement la terre dans un état d'indivision très poussée, et dès qu'il s'agit de propriétés indigènes la francisation a beau intervenir, la propriété indigène en dehors du pays kabyle est presque toujours soumise à l'indivision et présente de ce fait une situation très différente de ce qu'elle

eût pu être si l'indigène, comme la terre, était soumis à notre Code civil au point de vue matrimonial et successoral.

Il y a là un fait dont il convient de se bien pénétrer pour comprendre les difficultés de valorisation de la propriété musulmane, et l'état trop souvent arriéré de son économie rurale.

* * *

A côté de cette propriété indigène, s'étend sur 2.300.000 hectares la propriété européenne. Celle-ci est en majorité issue de la colonisation officielle et s'est pendant tout le XIX^e siècle constituée par l'application de formules parfois opposées : concessions gratuites ou ventes aux enchères, constitution de villages ou attributions de lots de fermes, créations de très petites propriétés de trois quarts d'hectare, comme le faisait CLAUZEL, de 4 hectares comme le décidait BUGEAUD qui toutefois, en même temps, attribuait à Boufarik, à Borély la Sapie, le grand domaine de Souk-Ali, et les 1.020 hectares du camp de Staouéli aux Trappistes, lots de 8 à 10 hectares attribués aux ouvriers des ateliers nationaux, grandes concessions du second Empire allant jusqu'à 100.000 hectares, lots de 30 à 70 hectares créés par la III^e République.

Pendant tout un siècle, les méthodes se sont succédé et heurtées, mais elles ont néanmoins abouti à créer un peuplement français, une propriété française qui aujourd'hui est la richesse du pays et fait vivre la masse indigène en croissance rapide.

Dans son ensemble, cette colonisation s'avère comme une œuvre à caractère dominant de colonisation de peuplement, ayant créé un ensemble de petites et de moyennes propriétés rurales, issues en grande majorité, non pas de la spéculation et du capitalisme, mais de la volonté de l'État, puisque sur 2.400.000 hectares colonisés, 700.000 seulement proviennent de la colonisation libre, ayant acquis à ses risques et périls les terres des indigènes, tandis que la colonisation officielle de l'État a créé des propriétés françaises s'étendant sur 1.700.000 hectares.

Et cette création a permis aux indigènes de se multiplier là où elle avait lieu. Dans tous les villages de colonisation, le nombre de Musulmans est en croissance rapide, d'autant plus rapide que la colonisation y est plus prospère. Ainsi, de 1906 à 1939, dans la Mitidja la population indigène s'élève, à Boufarik de 4.230 à 10.104, à l'Arba de 6.937 à 12.691, à Sidi-Moussa de 1.948 à 4.164, à El-Affroun de 2.427 à 6.620, dans le Sahel, Chéragas voit, de 1906 à 1936, le nombre des indigènes passer dans le même temps de 1.904 à 3.981, Draria de 1.045 à 1.645, El Achour de 35 à 494, Zéralda de 432 à 2.391, Guyotville de 91 à 4.352, tandis que dans les zones à colonisation rare, la hausse est beaucoup

moins marquée, Aïn-Mlila ne passant à trente ans de distance que de 53.732 à 61.469, Remchi de 31.698 à seulement 41.903, Renault de 28.767 à seulement 32.240, et l'on pourrait dans les trois départements multiplier les exemples, aussi le professeur LESPÈS a pu écrire, dans une publication officielle, qu'il n'est pas dans le monde un pays où l'indigène musulman soit en contact plus étroit dans la vie rurale et dans la vie urbaine avec la colonisation et où la collaboration apparaisse une nécessité plus impérieuse, une réalité moins contestable.

Et sa conclusion qui était de 1937, peut être aujourd'hui celle de cette rapide revue. « L'Algérie est un pays où l'on travaille beaucoup, et selon tous les modes de l'activité humaine. Elle s'enorgueillit d'offrir un visage et un esprit tout modernes. Elle est orientée vers l'avenir. Elle aspire de plus en plus à entraîner dans son essor toutes ses populations. Elle est profondément française, non point seulement par la contribution qu'elle apporte à l'économie nationale, mais par la volonté qui l'anime plus que jamais de faire œuvre sociale et de poursuivre le relèvement matériel et moral de tous ceux que la Mère Patrie a associés à ses destinées. C'est vers la France, vers la France seule, qu'elle se tourne tout entière, avec la pleine conscience que les intérêts des deux pays sont liés indissolublement, comme leurs destinées. »

C. R. DES TRAVAUX PÉDOLOGIQUES MÉDITERRANÉENS EFFECTUÉS DEPUIS LE CONGRÈS D'OXFORD (1935)

PAR HUGUET DEL VILLAR (E.)

Président de la Sous-Commission méditerranéenne
de l'Association Internationale de la Science du Sol.

Le fonctionnement de l'Association internationale de la Science du Sol a été interrompu par la guerre. Or, malgré les horreurs de ces dernières années, depuis 1936 dans mon pays et depuis 1939 dans le reste du monde, ma Sous-Commission méditerranéenne a continué à travailler activement sans interruption et, comme président de celle-ci, j'ai eu le précieux concours de ses collaborateurs les plus constants, notamment pour l'Afrique du Nord, l'ingénieur en chef du Génie rural, M. Georges CARLE (1945) et, pour l'Afrique du Nord et la Péninsule Luso-Ibérique l'ancien Laboratoire de notre regretté collègue le Dr DE SIGMOND à Budapest, dirigé après sa mort par le Dr KOTZMANN.

Je crois donc devoir rendre compte à cette réunion des travaux pédologiques méditerranéens que j'ai accomplis dans ces conditions depuis le Congrès d'Oxford en 1935, en partie publiés et en partie inédits. En voici la liste :

Travaux publiés ou en cours de publication :

« Sobre la adaptaciôn de *Pinus Pinaster* a sueles calizes. » *Bull. Silva Mediterranea*, V, XIII, 1935.

« Rapports entre l'eau souterraine et la typologie des sols. » *Bull. Comité. pour l'étude des eaux souterraines du Maroc* (1937).

« Soils of the Lusitane-Iberian Peninsula. » En espagnol et en anglais, Madrid, 1937. 1 vol. de 400 pages.

« Carte des sols de la Péninsule Luso-Ibérique. » E = 1/1.500.000; en espagnol, français, anglais et allemand. Londres, Th. Murby and Co., 1938.

« Les sols du Maroc au point de vue géographique. » *Revue de Géographie marocaine*, 1938, I, II.

« A new contributies to a universal objective classification of soils. » *Soil Research*, V, 4/5, 1939.

« Un premier aperçu sur les sols de l'Algérie. » *Bull. Assoc. franç. pour l'étude des sols*, V, n. 1, 1939.

« Compte rendu d'une prospection pédologique dans la région de Tadla. » Ce rapport n'a pas été publié, l'auteur n'ayant pas trouvé, au Maroc, le moyen de faire les analyses qu'il jugeait nécessaires; mais son contenu a été utilisé dans la « Première étude sur les sols de Tadla », par M. E. MIÈGE en 1941.

« Quelques profils des plaines de l'Habra et du Chélif. » *Ann. de l'Institut Agronomique d'Algérie*, II, 1942.

« Quelques types de sol du Gharb : hamri dunaire, dess, tirs. La Terre marocaine, numéro double de novembre, 1943.

« The tirs of Morocco. » *Soil Science*, V (et XII), 1944.

Communications à la Société des Sciences naturelles du Maroc. Compte rendu des séances, 1937 à 1946 (en partie pédologiques, en partie botaniques).

« Types de sol de l'Afrique du Nord. » En publication par livraisons. Le fascicule 1 paraissant à la date de cette conférence internationale, 1947.

Travaux inédits :

« Types de sol du Gharb : leurs rapports génétiques. » Rédigé pour l'Assoc. maroc. pour l'étude du sol, 1940.

« Carte des sols du Sahel d'Alger et d'une partie de la Mitidja, etc. » E = 1/50.000.

« Carte des sols de la région d'Oran-Mostaganem. » E = 1/50.000.

« Mémoire sur les sols du Gharb oriental. » Rédigé sur commande de la Direction de la Production agricole du Maroc, 1942.

« Carte des sols du Gharb français. » E = 1/50.000, en couleurs, plusieurs feuilles, avec fichier descriptif des profils prélevés (plus de 100) et chiffres d'analyses. Travail accompli pour la Chambre d'Agriculture de Rabat, 1943.

« Carte des sols de la région à Rabat. » E = 1/50.000, en couleurs, plusieurs feuilles, Id., 1943.

« Nouvelle carte des sols du Gharb. » E = 1/100.000 à l'Institut Scientifique chérifien de Rabat, 1945.

« Carte des sols du Maroc. » E = 1° 1/500.000. En train d'être terminée, 1934-1937.

Cette liste représente l'état de la collaboration de sa Sous-Commission méditerranéenne au problème de la connaissance des sols du Globe et de leur Cartographie.

NOTE SUR LA CARTOGRAPHIE

La cartographie des sols n'étant que l'expression graphique de la distribution de leurs différents types, avant le problème de la Cartographie se pose celui de la classification, qui est loin d'être résolu. Mais,

la classification des sols étant un thème scientifique objectif, pour les travaux personnels on doit respecter la liberté de chaque auteur.

Lorsqu'il s'agit d'un travail collectif, il est évident qu'il faut bien adopter une méthode uniforme. Mais celle-ci reste toujours exposée à la critique scientifique universelle.

L'adoption d'une classification en vue d'une carte des sols du Monde, n'est pas un sujet à résoudre, dans une séance, entre un petit nombre de pédologues. Elle ne peut être que le résultat d'une collaboration internationale la plus large possible. Pour ce but et d'autres analogues, il existait déjà la cinquième Commission de l'Association internationale de la Science du Sol, divisée en sous-commissions pour les différentes parties du Monde. Cette Commission doit se refaire, et c'est sur le rapport définitif de chaque sous-commission, qu'un accord conscient et solide de la cinquième Commission peut être établi.

Pour ma part, comme Président de la Sous-commission méditerranéenne, la tâche est terminée. Et je peux rendre compte de la classification où j'ai été conduit par son étude des pays méditerranéens.

Cette classification a évolué au cœur de mon propre travail, à la recherche d'une perfection toujours plus grande, mais en restant la même dans l'essentiel. Elle se trouve publiée surtout dans les endroits ci-dessous :

Dans les « Proceedings » du deuxième Congrès international des Sols (Leningrad—Moscou, 1930).

Dans le premier chapitre de mon ouvrage cité « Soils of the Lusitano-Iberian Peninsula », 1937.

Dans la revue « Soil Research », VI, 4/5, 1939.

Dans le premier fascicule, chapitre I de mon ouvrage en cours de publication « Types de sol de l'Afrique du Nord », 1947.

Lorsque les Présidents de toutes les autres sous-commissions de la Commission V auront exposé analogiquement la méthode qu'ils ont choisie ou créée, et appliquée avec succès à la région respective du Globe, on aura la base scientifique pour comparer ces différentes méthodes et en arriver à une méthode unique applicable à un travail collectif pour la Carte du Monde.

LES MÉTHODES D'EXAMEN DES SOLS TROPICAUX ET SUBTROPICAUX

Par J. BAEYENS.

Professeur à l'Université de Louvain.

Directeur de l'Institut Pédologique de l'Université.

En 1934, l'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge (I. N. E. A. C.), créé au sein du ministère des Colonies, me chargea de l'organisation de l'étude des sols du Congo belge. En conséquence, une expédition pédologique fut projetée en Afrique centrale. A l'issue de cette expédition il fut créé à Yangambi (Stanleyville) une station d'agro-géologie s'occupant de l'étude du sol en rapport avec sa productivité et son amélioration.

Les résultats des recherches ont été condensés dans un ouvrage *Les sols de l'Afrique centrale*, dont le premier volume, paru en 1938, expose les principes des méthodes suivies et des résultats obtenus. Le deuxième volume, actuellement sous presse, traite plus spécialement des sols à bananiers de l'ouest africain tropical (1).

Après dix années de recherches continues, le moment nous semble venu de donner un coup d'œil rétrospectif sur les résultats acquis à ce jour et sur les méthodes qui nous ont permis d'obtenir ces résultats.

Nous traiterons successivement les points suivants :

1. La nécessité du système de diagnostic totalitaire en pédologie tropicale et subtropicale.
2. La notion d'échelle pédologique de fertilité appliquée aux sols tropicaux.
3. La technique du diagnostic pédologique aux tropiques.
4. L'importance relative des différentes catégories de facteurs pédologiques dans l'estimation de la fertilité d'un terrain aux tropiques.

La nécessité du système de diagnostic « totalitaire » en pédologie tropicale et subtropicale.

La productivité d'une plante de culture est déterminée par un ensemble de facteurs de croissance d'ordre climatique, génétique, sanitaire, physique, chimique, biologique, hydraulique qui tous à un

(1) J. BAEYENS, *Les sols de l'Afrique centrale*. Gembloux (Belgique). J. Duculot.
Tome I. Le Bas-Congo belge. (Épuisé.)
Tome II. Les sols à bananiers de l'ouest africain tropical. (Sous presse.)

degré divers contribuent à la réussite d'une culture donnée. Parmi ces causes, les facteurs d'ordre pédologique proprement dit ne constituent qu'une catégorie parfois d'ordre secondaire. Et dans les facteurs pédologiques proprement dit il existe une catégorie d'importance dont nous parlerons plus loin.

La principale tâche du pédologue tropical et subtropical consiste dans le choix judicieux de ces facteurs de croissance, pédologiques et autres, qui ont pour la région déterminée, une influence décisive sur le résultat d'une récolte.

Dans une région totalement inconnue, le pédologue doit commencer par choisir ces facteurs en tâtonnant, ce qui revient à dire qu'au début il doit essayer tous les facteurs que nous venons de mentionner. Cette tâche peut paraître d'une complication inextricable : nous ne saisirons probablement jamais l'ensemble de toutes les influences qui conditionnent la croissance d'une plante de culture et la réussite ou la faillite d'une récolte; mais l'expérience pédologique au Congo belge nous a appris qu'on peut grouper ces facteurs pédologiques en quelques catégories qui permettent de saisir d'une manière assez complète la fertilité et l'ensemble des propriétés d'un sol donné.

Ces catégories sont : les propriétés mécaniques du sol, sa structure, son régime hydraulique, ses propriétés chimiques et colloïdales, son activité biologique et enfin la morphologie du profil.

Il nous est impossible, dans le cadre du présent exposé, de parler séparément de ces différentes catégories de facteurs et de leur application dans la pratique. Je dois me contenter de mettre devant vos yeux un exemple de diagnostic pédologique tel que nous l'avons appliqué à deux plantations de canne à sucre du Bas-Congo (Cf. tableau ci-joint). Le lecteur remarquera facilement le classement que nous avons introduit dans ce système de diagnostic qui a la prétention d'être « totalitaire », c'est-à-dire d'englober toutes les influences de quelque importance qui déterminent la productivité de ce sol. L'expérience nous a prouvé que ce système de recherches permet, dans la presque totalité des cas, de déterminer la valeur réelle du terrain et son aptitude à une plantation déterminée.

La notion d'échelle pédologique de fertilité appliquée aux sols tropicaux.

Lorsque le pédologue a examiné un sol tropical de la manière totalitaire que nous venons d'exposer au numéro précédent, il dispose d'un ensemble de données et de chiffres qui, par eux-mêmes, ne disent pas grand'chose, mais qui doivent être interprétés d'une manière judicieuse avant de pouvoir conduire à une conclusion définitive au sujet de la valeur du terrain considéré.

Pour préciser notre idée, nous devons rappeler ici le caractère essentiel *relatif* de toute analyse pédologique, quelle qu'elle soit. Ainsi tout pédologue sait qu'en extrayant d'un sol l'acide phosphorique « assimilable » au moyen d'un des réactifs employés actuellement : acide citrique, lactate de Ca, etc., il n'est nullement certain que les milligrammes ainsi obtenus représentent ni plus ni moins la partie réellement assimilée par la plante.

Pour que ces derniers acquièrent une valeur pratique il doit les confronter dans un grand nombre de cas aux résultats de récolte réellement obtenus.

Comparer les centaines d'analyses pédologiques aux données des récoltes correspondantes c'est dresser l'échelle pédologique de fertilité d'une région déterminée. Cette comparaison suppose qu'il existe une certaine relation entre le chiffre analytique obtenu et la réaction de la plante vis-à-vis de ce chiffre. Cette réalisation n'est pas évidente *a priori* mais l'étude de centaines de plantations existantes en Afrique centrale nous a appris qu'elle existe de fait, et que le système de diagnostic du sol que nous avons inauguré pour le Congo belge possède une valeur pratique réelle. Le rapport entre *chaque* catégorie d'analyses pédologiques et la fertilité du sol n'est pas toujours évident et son importance n'est pas la même. Seule l'expérience pendant de longues années, basée sur l'étude d'une multitude de cas spécifiques, peut apprendre au pédologue cette corrélation avec son importance relative. C'est dire que les recherches pédologiques aux tropiques portent un caractère « particulariste » très prononcé : le jugement sur un morceau de terrain ne vaut que pour ce terrain-là, et pas pour le terrain voisin : seule l'accumulation d'une multitude de diagnostics répétés sur les principales plantations existantes d'une région permet, à la fin, un coup d'œil d'ensemble sur la fertilité générale de la contrée étudiée.

En pédologie tropicale il faut avoir la patience d'accumuler d'abord un grand nombre de diagnostics partiels avant de porter un jugement général sur les propriétés des sols d'une région. L'expérience nous a appris maintes fois qu'un jugement définitif semblait possible après l'analyse de cinq ou dix plantations alors que ce jugement devenait tout autre après l'étude de vingt ou de trente exploitations.

Les considérations qui précèdent nous font prévoir naturellement deux étapes dans l'établissement de l'échelle pédologique de fertilité d'une région donnée : d'abord l'étude des plantations existantes et puis seulement la prospection des terrains nouveaux, de la forêt vierge.

Je crois nécessaire d'insister sur ce point, parce que l'expérience m'a appris que de fait cet ordre est assez souvent renversé : les sociétés coloniales, désireuses d'obtenir des résultats dans le plus bref délai, envoient leurs pédologues dans les parties de leurs domaines non encore

exploitées en négligeant leurs plantations existantes. Les considérations précédentes au sujet du caractère essentiellement relatif de toute étude pédologique aux tropiques, feront comprendre qu'une telle façon de faire ne peut en aucune façon produire des résultats dignes de confiance. Une société qui veut connaître les qualités, défauts et possibilités d'un terrain à exploiter doit commencer par faire étudier les plantations existantes de la région où l'on possède des données de récolte. C'est seulement l'étude de ces plantations-là qui permet l'établissement de l'échelle pédologique de fertilité : le pédologue analyse ces plantations, établit le rapport éventuel entre les chiffres analytiques et les récoltes et compare ces mêmes chiffres, obtenus sur le terrain vierge, aux chiffres analytiques des plantations existantes.

C'est un travail coûteux et de longue haleine dans une région où aucune étude pédologique n'a été faite, mais c'est un travail indispensable pour arriver à un résultat concret. Il dépasse souvent les moyens d'une société privée mais c'est ici que doivent intervenir les Pouvoirs publics pour soutenir l'initiative des efforts individuels. Le ministère des Colonies de la Belgique a compris cette tâche et c'est grâce à son intervention, ainsi qu'à son organisme spécialisé, l'Institut national pour l'Étude agronomique du Congo belge (I. N. E. A. C.) que nous avons pu obtenir les résultats très encourageants consignés dans nos deux ouvrages cités plus haut et dont la présente communication donne un aperçu succinct.

La technique du diagnostic pédologique aux tropiques.

Cette technique comporte deux phases : la prospection sur place par profilage et l'examen au laboratoire. Elle est différente suivant qu'il s'agit d'une plantation existante ou qu'il faut prospecter un terrain nouveau (forêt ou savane). La première doit logiquement précéder la seconde comme nous venons de voir dans le chapitre précédent.

A. — LA PROSPECTION DES PLANTATIONS EXISTANTES.

a) *La recherche des facteurs extra-pédologiques.*

Avant d'aborder l'examen pédologique d'une plantation existante il faut étudier les antécédents de cette plantation : le degré de développement de la forêt avant défrichement, son mode d'abatage, l'aménagement de la plantation, choix des plants et semences, apparitions antérieures de maladies et leur localisation, tout cela en vue de la découverte de causes que nous appellerons « extra-pédologiques », capables d'influencer l'aspect actuel et la productivité de la plantation, causes qui sont dues à des influences autres que celles inhérentes au sol même.

Si cet examen préliminaire n'est pas fait d'une façon suffisamment approfondie, le pédologue court le danger de mettre sur le compte du sol des différences de productivité ou de croissance dues en réalité à des causes qui n'ont rien à voir avec le sol lui-même ou du moins ne sont qu'indirectement en connexion avec lui. Je songe ici tout particulièrement à l'état sanitaire d'une plantation et aux maladies cryptogamiques. L'apparition d'une maladie causée par des champignons ou des bactéries (je ne parle pas des maladies « physiologiques ») peut évidemment être la suite d'une infection due au hasard, sans aucun lien avec le sol, mais l'expérience de l'étude de centaines de plantations en Afrique centrale m'a appris que parfois le sol est *indirectement* en cause. Si le terrain est riche et bien en ordre au point de vue pédologique, la végétation sera vigoureuse et se défendra d'elle-même contre un ennemi venant du dehors. Si le sol laisse à désirer, la plante sera chétive et sera plus facilement la proie des bactéries et des spores de champignons.

b) L'aspect « en mosaïque » des plantations en Afrique centrale.

Tout pédologue qui étudie les plantations en rapport avec le sol est frappé par leur aspect très hétérogène, même de celles dont l'aménagement et l'entretien ont été exécutés d'une manière uniforme. Toute plantation est une « mosaïque », une juxtaposition de lopins bons et moins bons qui se succèdent et s'alternent sans aucune régularité. Cette situation est causée évidemment par l'hétérogénéité naturelle du sol, mais elle doit être mise sur le compte, du moins en partie, des causes extrapédologiques dont nous avons parlé plus haut : irrégularités dans les procédés d'aménagement et de soins d'entretien ainsi que l'apparition locale de maladies. Cette hétérogénéité d'aspect et de productivité, qui déroute le pédologue débutant, constitue en réalité pour le technicien averti une aide précieuse dont il doit se servir pour l'établissement de son échelle pédologique de fertilité comme nous allons le voir.

c) Le choix de l'emplacement des profils.

Avant d'aborder l'étude du terrain lui-même, le pédologue doit être en possession d'un plan de la plantation où sont indiquées aussi fidèlement que possible toutes les différences de l'aspect et de la productivité des plantes avec l'indication des facteurs extrapédologiques capables de fausser son jugement sur la valeur du sol.

Ce plan en main, le pédologue parcourt la plantation et fait creuser un trou de profil au centre de chaque endroit bon et moins bon en groupant les trous autant que possible en petites séries de 2, 3 ou 4, de telle façon qu'à un profil creusé dans un mauvais endroit doit correspondre

un autre creusé dans un endroit meilleur à proximité. Cet accouplement de profils est nécessité par le caractère essentiellement relatif de tout examen pédologique tant au laboratoire que sur place. (Cf. chap. III.)

L'expérience nous a appris que le choix judicieux de l'emplacement des profils constitue le point cardinal de toute prospection pédologique sur place et est un indice de la valeur personnelle du pédologue. Le débutant a une tendance à distribuer ses profils d'une manière régulière sur le terrain. De cette façon il fait trop ou trop peu de profils. La distribution des profils sur le terrain doit être faite de telle façon qu'aucune variation dans les propriétés du sol n'échappe tout en évitant de creuser des profils inutiles. Dans ce même ordre d'idées, la description minutieuse de chaque profil, si nécessaire soit-elle, est cependant moins importante que la comparaison des caractéristiques générales des profils entre eux. La pratique du profilage apprend assez vite à englober d'un coup d'œil général les différents horizons sans s'attarder à leur description détaillée, pour concentrer toute l'attention sur la comparaison des profils dans chaque série et des séries entre elles.

B. — LA TECHNIQUE DE LA PROSPECTION PÉDOLOGIQUE D'UN TERRAIN VIERGE AUX TROPIQUES

La prospection des plantations existantes dans une contrée, jointe aux analyses de laboratoire, aura permis au pédologue de dresser l'échelle pédologique de fertilité de cette région. Moyennant cette échelle, il peut maintenant entamer la prospection des terrains nouveaux non encore en culture. Cette technique n'est pas la même que celle des plantations existantes mais son objet est identique : trouver le plus judicieusement possible l'emplacement des profils à étudier. Dans ce choix il doit se laisser guider par l'ensemble des variations que présente le terrain et la végétation qu'il porte. Il est impossible de donner ici des règles précises : seule une longue expérience peut apprendre au pédologue l'art qui consiste à jalonner ses profils, ni trop ni trop peu, de telle façon qu'aucune variation importante du terrain ne lui échappe. Voici cependant quelques directives générales.

a) *L'aspect de la végétation spontanée.* — Au Congo belge nous avons trouvé que la composition botanique de la forêt est moins importante que son degré de développement. Ainsi, au Mayumbe nous avons pu distinguer dans la forêt trois degrés différents de développement, nettement en rapport avec la qualité du sol, et cela indépendamment des essences botaniques présentes.

b) *L'utilité de la mesure du pH sur place.* — Dans notre ouvrage sur les sols de l'Afrique centrale, nous avons pu montrer qu'il existe une

corrélation assez serrée entre la réaction du sol et sa teneur en bases échangeables. Comme la mesure du pH peut s'exécuter facilement sur place, on comprend qu'un bon potentiomètre portatif, sensible au dixième de pH, est un ingrédient essentiel de l'équipement de toute prospection pédologique aux tropiques.

c) *Prospection préliminaire et complémentaire.* — Une prospection pédologique exécutée d'après les principes que nous venons d'exposer est une entreprise compliquée, longue et coûteuse. Nous croyons qu'un gain sérieux de temps et de dépense peut être réalisé en divisant le travail en prospection préliminaire et complémentaire.

En abordant un endroit nouveau, le pédologue parcourt rapidement le terrain en examinant en cours de route un petit nombre de profils dont il envoie les échantillons au laboratoire d'analyse. En attendant le résultat de ces analyses, le prospecteur attaque un autre bloc voisin pour retourner au premier, pour la prospection approfondie, si les premiers résultats du laboratoire semblent favorables.

L'importance relative des différentes catégories de facteurs pédologiques dans l'estimation de la fertilité d'un terrain aux tropiques.

Nous avons vu qu'un examen de sol aux tropiques implique une prospection sur place et des analyses de laboratoire. A la fin de cet examen, le pédologue dispose donc d'un ensemble de données multiples qui peuvent être classées en quelques catégories dont l'importance relative est assez inégale en vue de la détermination de la fertilité probable d'un terrain à cultiver. Nous pouvons classer ces catégories dans l'ordre ci-après, suivant leur degré d'importance décroissante :

1. Les facteurs d'ordre climatique. — Température et pluie.

A première vue ces facteurs semblent être de nature extra-pédologique mais nous avons pu montrer dans le tome I de notre ouvrage sur les sols africains, que ces facteurs ont une telle influence sur les propriétés et fertilité du sol qu'on peut les considérer comme de vrais facteurs pédologiques. Nous allons même plus loin et nous n'hésitons pas à dire que de tous les facteurs pédologiques aux tropiques, une température et une pluie convenables constituent la condition première et principale pour la réussite d'une culture. Une étude pédologique aux tropiques n'est pas possible sans une étude climatique ou plutôt pédo-climatique de l'endroit.

2. La morphologie du profil.

Nous entendons par morphologie du profil son caractère homogène ou hétérogène, la présence ou l'absence d'horizons marqués, la présence

I. — LA CANNE A SUCRE

I. — LA CANNE A SUCRE																																										
NUMÉRO de la collec- tion	PRO- FON- DEUR des hori- zons	COMPOSITION MÉCANIQUE								STRUCTURE DU SOL				RÉGIME DE L'EAU DU SOL EN %								ANALYSE CHIMIQUE ET COLLOÏDALE												ANALYSE BIOLOGIQUE					RÉACTION et saturation du complexe abs.			DONNÉES culturales et autres remarques
		Avec préparation				Sans préparation				Facteur de structure		Poro- sité	Ma- cro- struc- ture	Eau statique				Eau dynamique				Bases échangeables en M. E. sur 100 gr.				Potasse échangeable en M. E. sur 100 gr.				P ₂ O ₅ SOLUBLE en mgr. sur 100 gr.			N Total (mgr)	Ni- tra- tes (mgr NO ₃)	C (en %)	Pou- voir cata- lyti- que	Rap- port C N	pH	T	V en %		
		0 à 0.002 mm.	0.002 à 0.02 mm.	0.02 à 0.2 mm.	0.2 à 2 mm.	0 à 0.002 mm.	0.002 à 0.02 mm.	0.02 à 0.2 mm.	0.2 à 2 mm.	0 à 0.002 mm.	0.002 à 0.02 mm.			Eau capil- laire	hygrosco- p.		utile		Capillarité		S	q°	Y ₁	Y ₂	S	q°	Y ₁	Y ₂	100 cc.	200 cc.	Rap- port											
		27° C	40° C	20° C	40° C	vi- tesse 20 h.	mm. 100 h	Va- leur																																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 a	16 b	17 a	17 b	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
1 { 244	0,10	17,6	12,3	23,1	47,0	1,8	6,2	92	—	89	50	39,0	6,7	19,9	—	5,9	—	14,0	385	534	591	10,4	8,7	3,7	5,4	0,3	28	0,25	0,27	1,9	3,4	1,8	—	1,3	0,82	56	—	8,26	—	—	100 tonnes à l'hectare. 66 tonnes à l'hectare. 29 tonnes à l'hectare. 21 tonnes à l'hectare. Plantation abandonnée.	
1 { 247	0,75	16,9	10,5	21,5	51,1	0,8	8,8	90	4	95	16	42,4	9,3	21,7	—	6,7	—	15,0	360	561	653	14,3	22,9	1,89	3,3	0,15	0,0	0,15	0,15	0,2	0,5	2,0	—	0,6	0,35	76	—	7,88	—	—		
2 { 250	0,20	7,7	6,3	11,2	74,8	0,4	1,6	98	—	94	74	48,2	12,7	25,8	—	7,4	—	18,4	342	500	564	4,2	7,9	2,96	3,4	0,17	36,7	0,16	0,17	1,3	2,0	1,4	—	1,7	1,40	25	—	6,12	—	—		
2 { 253	0,85	12,9	11,0	18,5	57,6	0,2	3,9	95	9	98	64	43,8	0,1	29,4	—	6,4	—	23,0	435	592	657	3,9	2,3	3,34	3,6	0,10	0,0	0,10	0,10	0,5	0,7	1,3	—	0,8	0,84	19	—	0,01	—	—		
3 { 256	0,10	18,9	11,8	15,3	54,0	0,0	3,3	96	7	100	72	34,0	2,9	17,8	—	10,2	—	7,6	229	316	350	1,0	0,0	1,0	1,0	0,2	—	0,08	0,09	1,5	3,0	1,8	—	0,5	0,93	7	—	4,61	—	—		
3 { 260	1,00	31,5	13,4	16,8	38,3	0,4	5,9	93	7	98	57	39,4	7,3	20,0	4,2	10,9	15,8	9,1	330	470	529	1,0	71,6	0,4	0,5	0,155	0,0	0,04	0,04	0,5	0,9	1,7	—	1,8	0,53	2	—	4,71	5,02	20,31		
4 { 263	0,15	33,0	7,5	17,7	41,8	0,3	3,3	96	4	99	56	38,9	9,3	18,3	3,7	11,8	14,6	6,5	313	425	467	0,9	0,0	0,9	0,9	0,09	0,0	0,2	0,2	0,9	1,4	1,5	—	2,2	0,97	5	—	4,77	—	—		
4 { 266	0,70	36,7	9,4	19,4	34,5	0,0	5,3	94	7	100	43	45,3	8,2	25,6	—	13,3	—	12,3	374	519	578	0,7	12,4	0,61	0,6	0,04	750	0,05	0,08	0,7	0,8	1,1	—	1,8	0,53	3	—	4,92	—	—		
5 { 268	0,20	51,4	9,3	19,3	20,0	1,7	5,4	92	9	96	42	38,4	2,1	22,2	—	18,4	—	3,8	250	358	403	2,4	27,7	0,66	1,0	0,06	0,0	0,06	0,06	0,6	0,9	1,6	—	0,9	1,21	16	4	4,62	—	—		
5 { 270	0,70	47,8	9,8	20,9	21,5	2,1	5,8	91	1	94	41	44,0	10,3	22,7	—	15,8	—	6,9	265	395	436	0,7	25,6	0,52	0,6	0,27	333	0,1	0,15	0,6	0,9	1,3	—	1,0	0,93	5	—	4,61	—	—		

II. — LA CANNE A SUCRE

1	718	0,30	50,0	32,4	15,2	2,4	5,2	12,3	14,4	68,1	89,5	62	50,6	14,2	27,8	7,1	—	20,7	—	205	339	405	7,5	1,6	6,0	6,7	0,22	245	0,40	0,14	1,66	2,22	1,3	120,5	5,24	0,99	45	8,2	5,73	—	—
	719	0,60	47,0	30,6	17,9	4,5	5,4	10,7	16,3	67,6	88,5	65	46,9	5,1	29,7	8,0	—	21,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	720	0,90	44,5	28,8	21,6	5,1	4,8	15	24,4	55,8	89	48	42,3	10,2	21,0	7,4	—	13,6	—	260	424	505	8,0	1,2	6,6	7,3	0,38	568	0,07	0,12	0,91	1,63	1,7	—	3,15	0,66	74	—	7,01	—	—
	721	0,30	24,0	17,6	17,4	41,0	1,3	5,7	13,2	79,8	94,5	67,5	56	9,7	39,7	4,8	—	34,9	—	424	682	800	1,6	0,0	1,6	1,6	0,01	—	0,01	0,01	1,78	2,44	1,3	176,0	2,57	2,57	59	14,6	5,26	—	—
2	722	0,50	21,4	17,8	19,0	41,8	1,4	7,5	15,2	75,9	93,5	58	41,7	7,1	22,4	4,1	—	18,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	723	0,75	25,6	18,5	19,6	36,3	1,6	8,1	17,5	72,8	94	56	32,4	—	19,8	4,9	—	14,9	—	373	541	610	1,6	20,7	0,9	1,2	0,01	—	0,01	0,01	0,78	1,40	1,7	—	1,05	0,28	20	—	5,13	—	—
3	724	1,20	24,1	17,5	18,3	40,1	1,8	6,9	15,8	75,5	92,5	60,5	39,4	4,6	21,6	5,2	—	16,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	714	0,30	20,6	13,2	15,7	50,5	1,1	5,1	16,5	77,3	94,5	61,5	43,6	11,2	21,7	4,1	—	17,6	—	332	455	500	0,8	18,5	0,6	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	715	0,50	22,1	15,5	15,6	46,8	2,3	5,4	17,3	74,7	89,5	63	39,5	5,8	21	3,6	—	17,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	716	0,75	29,3	15,6	14,4	40,7	2,4	6,2	17,2	74,2	92	60	39,2	4,9	21,3	5,9	—	15,4	—	371	546	621	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	717	1,20	31,4	15,6	16,1	36,9	3,1	5,9	16,5	74,5	90	62	40,1	6,8	21,0	5,9	—	15,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	710	0,30	20,7	10,5	12,7	56,1	2,8	4,4	16,0	76,8	86,5	58	45,7	22,7	16,0	5,3	—	10,7	—	371	500	546	0,8	18,5	0,6	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	711	0,40	22,5	11,9	14,3	51,3	0,9	4,1	16,6	78,4	96	65,5	35,8	6,8	17,1	4,1	—	13,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	712	0,60	33,2	13,0	13,8	40,0	0,6	4,1	16,0	79,3	98,5	68,5	39,8	11,1	18,0	3,9	—	14,1	—	320	439	484	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	713	1,00	34,2	9,7	15,3	40,8	0,60	2,8	15,5	81,1	98	71	40,4	7,1	21,1	4,3	—	16,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

83 tonnes
à l'hectare.

58 tonnes
à l'hectare

42 tonnes
à l'hectare

25 tonnes
à l'hectare.

ou l'absence d'accidents morphologiques comme sont les bancs pierreux, une nappe phréatique surélevée, un horizon gley accentué, etc. La morphologie du profil doit être mise en rapport avec l'étalement du système racinaire qui est normal seulement dans un profil homogène sans horizons saillants.

Si le profil est coupé par un accident, le système racinaire est tronqué et la plante reste chétive, mais en dehors de ce cas nous avons remarqué maintes fois que la forme que prend le système racinaire s'adapte parfaitement à l'hétérogénéité du profil et cela indépendamment de l'espèce botanique. Ainsi, si un profil argileux est coupé en son milieu par un horizon très sablonneux, l'étalement du système racinaire sera, au milieu du profil, autre qu'en haut et en bas. Le caractère traçant et pivotant du système racinaire, propre à chaque espèce botanique, disparaît en grande partie devant l'hétérogénéité du profil. Un profil à horizons très différenciés rend impossible une culture normale *quelle que soit la richesse chimique du sol*. Voilà pourquoi nous considérons qu'après les facteurs climatiques, l'étude de la morphologie du profil occupe la place la plus importante dans les travaux de prospection. Elle est de beaucoup plus importante que l'analyse chimique du laboratoire.

3. *Les propriétés physiques du profil en rapport avec son régime hydraulique et l'étalement du système racinaire.*

Quand nous parlons de propriétés physiques du profil, nous songeons à son caractère argileux ou sablonneux et surtout à sa structure. Il est évident que ces propriétés sont en rapport étroit avec le régime hydraulique et aussi avec l'étalement du système racinaire. Dans cet ordre d'idées nous avons introduit en pédologie tropicale deux notions que nous croyons être de la plus haute importance pour l'avenir de la prospection aux tropiques, notamment celles de *volume* et de *surface* racinaire. Nous entendons par volume racinaire, le volume total du sol exploité par les racines tandis que la surface racinaire indique la surface totale que présente au sol le système racinaire avec ses racines et radicelles. Un profil qui n'est ni trop argileux ni trop sablonneux et est à bonne structure, a une teneur en eau capillaire nécessairement élevée s'il pleut assez ou si le terrain est alimenté par irrigation souterraine, naturelle ou artificielle. Dans un tel profil le volume racinaire sera plutôt réduit mais la surface racinaire sera grande. En d'autres termes l'étalement du système racinaire ne sera pas considérable mais il sera très ramifié avec un chevelu dense de radicelles. Si le terrain est sablonneux ou a structure défavorable la teneur en eau capillaire, dont la plante vit, est minime et les racines sont obligées d'aller chercher au loin l'eau dont elles ont besoin : le système racinaire

sera étalé mais peu dense : volume radiculaire élevé, surface radiculaire réduite.

4. *La répartition de la matière organique à travers le profil. — Zone d'infiltrations d'humus.*

L'importance de l'humus aux tropiques ne doit plus être démontrée. Nous croyons cependant utile d'attirer l'attention du prospecteur pédologique sur ce que nous appelons : zone d'infiltration humifère en rapport avec la structure et le régime hydraulique du sol. Si le sol est en bonne structure, si sa réaction et sa teneur en bases échangeables est suffisamment élevée, la matière organique superficielle solubilisée pendant le processus de l'humification « filtre » d'une manière homogène et graduelle à travers les horizons superficiels de telle façon que le haut est noir foncé pour s'éclairer graduellement vers le bas. Une telle zone d'infiltration d'humus est un indice de la valeur générale du profil non seulement au point de vue de l'abondance de l'humus lui-même, mais aussi au point de vue de la bonne structure du profil et par conséquent de son régime hydraulique.

5. *La richesse chimique du terrain.*

Si les conditions climatiques sont favorables, c'est-à-dire si le régime pluvial est abondant et bien réparti à travers les saisons, si la morphologie du profil est en ordre, si ses constantes physiques et par conséquent son régime hydraulique sont favorables, on peut dire que le terrain est fertile, *même si sa teneur en matières nutritives est plutôt faible*. Dans la catégorie d'importance des facteurs pédologiques de croissance, nous classons ainsi les facteurs chimiques en dernier lieu, alors que dans les régions tempérées elles ont occupé jusqu'ici la première place.

Ce renversement des choses, qui peut sembler paradoxal, est cependant très explicable à la lumière de nos connaissances pédologiques actuelles : un sol sous régime pluvial abondant et à bonne structure possède, sous forme d'eau capillaire, un trésor hydraulique abondant qui mobilise de la réserve du sol un capital chimique suffisant même si, calculé en pour cent, la teneur en matières nutritives est plutôt faible. C'est là l'explication du secret d'une forêt tropicale exubérante qui se maintient sur un sol chimiquement pauvre à condition que ses autres constantes pédologiques soient excellentes.

Nous sommes ainsi amené à mettre les constantes chimiques d'un terrain au bas de l'échelle d'importance des facteurs pédologiques qui régissent la fertilité d'un sol tropical en général. En agissant de la sorte nous sommes pleinement conscients de la responsabilité scientifique que nous assumons ainsi vis-à-vis de l'orientation que l'agriculture

doit prendre à l'avenir. Le problème de la pédologie tropicale appliquée à l'agriculture est à l'heure actuelle avant tout un problème de diagnostic judicieux et de conservation du sol plutôt que de son amélioration, coûteuse et problématique, par les engrais chimiques. Cette conservation du sol est étroitement liée à la présence et à la conservation de la matière organique.

LES SOLS A CROUTE CALCAIRE

Par G. AUBERT

Institut de la Recherche scientifique coloniale (Paris).

Au cours des excursions faites en Algérie, les congressistes ont pu observer en de nombreux points la présence de bancs calcaires peu épais qui affleurent à la surface du sol ou à faible profondeur. Dans la majorité des cas, en particulier en Oranie, où leur coupe a pu être étudiée, elle présente en surface une zone litée, très dure, puis une masse dure, souvent noduleuse, et en dessous un niveau tendre granuleux. A Relizane, un horizon en partie décalcifié s'observe à 2 m 50 de la surface.

Quelques formations analogues existent dans le Midi de la France, spécialement dans la basse vallée du Rhône.

Les théories actuellement proposées pour expliquer leur genèse sont nombreuses et assez différentes. Aucune ne paraît encore s'imposer totalement. Il peut être utile de les résumer brièvement.

Il est nettement démontré que s'il se forme encore actuellement de telles croûtes calcaires en Algérie, la plus grande partie en est fossile. Elles pourraient dater du quaternaire ancien.

Il ne paraît pas qu'on puisse les regarder toutes comme de simples niveaux géologiques, par exemple de calcaire lacustre. Tel peut être le cas en certains points des Hauts Plateaux; en général leur position, leur épaisseur et leur relation avec la topographie ne s'accordent pas avec une telle hypothèse.

Certains ont voulu n'y voir que des dépôts de sources. S'il est vrai que de tels dépôts peuvent avoir une structure et une morphologie analogue à celles de la partie supérieure de ces croûtes, ces dernières, dans leur ensemble, sont plus complexes que des tufs proprement dits et il n'y a pas été décrit, sauf peut-être en quelques cas très rares, de traces des sources elles-mêmes qui devraient pourtant, étant donnée leur si grande extension, être très nombreuses.

Une autre théorie assimile ces bancs calcaires à des dépôts de nappes phréatiques. Cela peut être le cas pour au moins une partie des croûtes calcaires de la basse vallée du Rhône, il est difficile d'expliquer ainsi la formation de la plupart de celles d'Algérie. Même en tenant compte de mouvements qui, au moins localement, se sont certainement produits

depuis leur formation, leur position topographique actuelle sur les sommets des collines aussi bien que dans les fonds et les zones basse s'accorde mal avec cette idée.

Le processus de décalcification d'horizons supérieurs aujourd'hui érodés, et d'entraînement du calcaire en profondeur où aurait lieu son dépôt, peuvent aussi être invoqués. S'il en était ainsi, il ne faudrait donner à la proximité si générale de ces croûtes calcaires et des sols de natures plus ou moins steppiques, et de caractère pédoclimatique sec sinon aride, que la valeur d'une simple coïncidence. Il faut aussi admettre, dans ce cas, la présence ancienne d'horizons épais au-dessus de ces croûtes pour avoir pu fournir une masse de calcaire aussi importante. Mais ces processus, là où nous les observons, en des régions actuellement plus humides, ne donnent généralement pas naissance à de tels dépôts. Là où l'horizon alluvial calcaire est aussi devenu très dur, l'on n'observe pas cette succession d'horizons graduellement moins calcaires en profondeur, au contraire, et dans le cas des lœss où la limite supérieure de l'horizon d'accumulation calcaire est très nette, le durcissement ne se fait que par noyaux (poupées) et plus en profondeur. L'horizon supérieur très dur et lité n'a jamais été décrit, à notre connaissance, comme résultant de tels processus.

Plusieurs pédologues d'Afrique du Nord ajoutent à cette théorie l'idée que la croûte vue comme horizon d'un sol ne serait constituée que par l'horizon calcaire durci; le calcaire blanc granuleux étant interprété comme un niveau géologique plus ancien. On doit alors le retrouver en certains points, non encroûté.

Il a été admis, depuis longtemps, par beaucoup, sous des formes légèrement différentes, que ces formations sont dues à la remontée de solutions du sol, enrichies en calcaire au contact de la roche mère dont le niveau supérieur se décalcifie ainsi peu à peu, et au dépôt du calcaire, à la surface du sol ou à faible profondeur, soit par un simple phénomène d'évaporation, soit par diminution de la teneur de ces solutions en gaz carbonique. Le climat qui correspond à la formation de tels sols n'est pas vraiment désertique, mais plutôt sub-aride, ou comportant, tout au moins, une saison très sèche, mais après une plus humide permettant la descente des solutions du sol jusqu'à la roche mère et la dissolution du calcaire.

Cette hypothèse paraît cependant expliquer assez mal des détails d'encroûtement observés en plusieurs points; et par ailleurs, les mouvements de remontée des solutions du sol semblent à certains beaucoup moins admissibles que les mouvements de descente. Peut être cela dépend-il essentiellement de la structure et de la texture du sol.

Enfin certaines croûtes peuvent n'être que des dépôts d'évaporation à la surface de roches calcaires assez poreuses.

Il apparaît donc comme probable que l'on a trop l'habitude, encore maintenant, de confondre sous un même nom et d'expliquer par un même processus des formations d'origines diverses. La classification des croûtes calcaires ne semble pas avoir été faite. Elle nécessitera des études plus détaillées, à la fois de la morphologie du profil de ces sols et de la constitution chimique et microscopique de ces croûtes elles-mêmes.

Intervention de H. Roseau.

Pour beaucoup de pédologues la croûte serait le résultat d'un mouvement *per ascensum* de l'eau.

A cette conception nous opposons les faits d'observation suivants :

1^o Généralement nous trouvons dans ces formations à croûte des couches horizontales — des horizons — nettement délimitées. Si c'était le fait de mouvements ascensionnels de l'eau, dans les canaux capillaires, ces canaux étant de différents diamètres, il devrait en résulter des zones de dépôt discontinues, tandis que nous avons des horizons présentant des surfaces planes ou légèrement ondulées;

2^o Les nodules de carbonate de chaux trouvés en profondeur, sous la croûte sont souvent de dimensions importantes, de l'ordre de 5 cm environ, parfois;

3^o La croûte ne s'étend pas sur de grandes surfaces. Si elle est formée par un mouvement ascensionnel de l'eau, lié au climat, elle devrait présenter un caractère d'universalité;

4^o La croûte devrait toujours être accompagnée d'une roche mère calcaire, alimentant en bicarbonate de chaux l'eau des canaux capillaires, cette roche mère se trouvant à une profondeur non exagérée pour permettre la remontée capillaire jusqu'au niveau où se forme la croûte. Or, beaucoup de terrains à croûte ne présentent pas de formations calcaires en profondeur;

5^o Les observations faites ces dernières années dans nos cases lysimétriques de l'Institut agricole (1) nous font condamner le mouvement *per ascensum* de l'eau provoqué par une température atmosphérique élevée.

Nous estimons par contre que, pour de nombreuses croûtes, leur formation résulte d'une sédimentation lacustre.

L'eau qui a circulé ou séjourné ensuite sur cette formation a dissous le calcaire en surface et par évaporation brutale a laissé de minces pellicules qui ont fini par constituer une carapace plus dure comparable aux dépôts zonaires des stalactites. Cette carapace qui, lors-

(1) Voir notre communication sur le mouvement de l'eau dans le sol.

qu'elle est suffisamment épaisse, porte le nom de croûte ne peut donc se former que s'il y a évaporation brutale de l'eau, ce qui explique sa formation en zone aride.

Pour expliquer les nodules formés en profondeur, il faut admettre que l'eau qui a réussi à pénétrer sous la croûte, a dissous la partie inférieure de cette formation d'où son aspect désagrégué; ce calcaire dissous dans l'eau circulant *per descensum*, s'est déposé ensuite sous forme de nodules, dans des cavités résultant par exemple de la destruction lente de racines d'arbres.

Des observations parlent en faveur de ce processus :

Ce sont les carapaces que l'on trouve souvent sur formations gréseuses calcaires, en particulier celle que nous avons pu suivre sur le grès calcaire de la carrière d'Aïn-Taya. Cette carapace se continue en profondeur par un mince filon de $\text{CO}_3 \text{Ca}$ obturant une ancienne fissure dans laquelle l'eau a circulé par un mouvement *per descensum*.

C'est aussi l'aspect zonal de la croûte rappelant celui des stalactites, et qui ne peut s'expliquer que par l'évaporation des couches d'eau chargées de bicarbonate de chaux qui ont séjourné successivement en ces lieux.

Intervention de G. Gaucher.

Je voudrais exposer brièvement quelques observations que j'ai faites sur les croûtes, observations que j'ai relatées en fin 1945 dans une causerie à la Section algérienne de l'Association française pour l'Étude du Sol et qui n'ont pu être publiées depuis pour diverses raisons. J'ai eu le grand plaisir de constater, tout à l'heure, que M. AUBERT s'était rallié en grande partie à ces idées, alors qu'il leur était franchement hostile à l'époque. Je ne suis pas intervenu dans les discussions qui eurent lieu devant les croûtes car j'espérais que l'on en rencontrerait une qui nous fournirait des faits beaucoup plus caractéristiques.

Le point fondamental est fourni, je crois, par un *examen pétrographique* des croûtes. On distingue, dans toutes croûtes, deux couches différentes :

Une couche supérieure peu épaisse (10 cm au plus), à structure zonale, que, pour la commodité de l'exposition, j'appellerai « croûte zonale ».

Une couche inférieure plus épaisse, à structure variable : compacte, rognoneuse, feuilletée, pulvérulente, granuleuse, etc. Je l'appellerai « encroûtement ».

Cette différence entre les deux couches est tellement constante et tellement visible qu'il est vraiment étonnant qu'aucun pédologue ne l'ait signalée ni surtout interprétée.

La partie supérieure, la « croûte zonaire » est, à mon avis, indépendante de l'autre. Elle peut exister aussi bien sur des roches de nature quelconque que sur des « encroûtements ».

Quand elle est associée à un encroûtement, *elle est toujours de formation postérieure à celui-ci*, elle s'infiltre, en effet, dans ses fractures et, quand celles-ci ne le traversent pas complètement, la croûte zonaire se termine *en points, en sifflet, à l'intérieur de l'encroûtement*. C'est bien, je pense, la preuve qu'elle s'est formée *per descensum*. Donc deux points capitaux : *la croûte zonaire est postérieure à l'encroûtement et s'est formée per descensum*.

Quant à l'encroûtement lui-même, il est bien difficile de supposer, dans la majeure partie des cas, qu'il est dû à un enrichissement en carbonate d'un horizon préexistant, soit *per ascensum*, soit *per descensum*. En effet, très souvent ces horizons révèlent des teneurs très élevées en carbonate de calcium : 85 % quand ce n'est pas 90 ou 95 %. On se demande alors ce qu'est devenu l'horizon préexistant d'autant plus que pétrographiquement on n'en voit plus la trace.

On est donc conduit à admettre qu'en très grande proportion au moins ces encroûtements ne sont pas d'origine pédologique, mais bien d'origine géologique et qu'ils sont en relation avec des phénomènes hydrologiques. Et l'on m'excusera, ici, de faire une incursion dans le domaine des méthodes.

Si l'on veut démontrer qu'un encroûtement est pédologique, la meilleure façon n'est-elle pas de démontrer qu'il n'est pas géologique en appliquant en cela les méthodes de la géologie et en contrôlant notamment ses conditions de gisement? Or, quand on veut préciser la localisation et les conditions de gisement de ces dépôts, on constate qu'ils se raccordent *toujours* à des couches perméables qui furent aquifères et surtout à des massifs de roches calcaires. Ainsi la croûte que nous a montrée M. AUBERT, à Relizane, se raccorde au delà de la vallée au flanc de laquelle nous l'avons vue — vallée d'âge Würmien à mon avis dont le creusement a été postérieur à l'édification de la croûte — se raccorde, dis-je, à des affleurements de poudingues qui furent vraisemblablement aquifères à l'époque de la croûte.

On observe de plus, toujours quand on examine les conditions de gisement de ces encroûtements, que ceux-ci sont d'autant plus importants que l'on s'approche des zones où il existe encore actuellement des sources. Par exemple si l'on s'éloigne vers l'est de la coupe que nous montra à Relizane M. AUBERT, on voit ces encroûtements s'étendre, s'épaissir et prendre une importance vraiment remarquable aux abords immédiats d'une source, reste d'émergences qui furent jadis plus abondantes, la source de Si Harrats.

Ces encroûtements sont donc, il me semble, des dépôts d'émergence,

des travertins, des formations souterraines de nappes phréatiques, des dépôts de lacs ou bien représentent-ils parfois l'encroûtement d'anciens lits d'oueds mis en relief par une phase d'érosion subséquente.

Leur morphologie est en rapport avec leur origine. Il en est de même de leur structure : celle-ci est vacuolaire, bulleuse, quand le dépôt s'est fait par dégagement de CO_2 , elle est compacte quand il s'est produit par une concentration de la solution. Les encroûtements enfin sont stalactiformes et admettent une proportion notable de matières terreuses quand ils représentent les dépôts souterrains d'une nappe phréatique produits dans les conditions que M. DEL VILLAR a décrites il y a déjà plusieurs années.

Très souvent le phénomène physique d'interface peut expliquer comment ce dépôt s'est amorcé dans les points où le « changement de milieu » se produisait.

L'extension remarquable de ces dépôts à certains niveaux quaternaires implique des conditions climatiques spéciales, capables de réaliser la dissolution du calcaire en certains points et son dépôt en d'autres. On parvient ainsi à la notion « d'optimum climatique d'un dépôt » sur laquelle je ne m'étends pas faute de temps mais dont je dirai qu'elle est valable aussi pour les sols salés.

Il est une dernière question : ces croûtes se forment-elles encore ? Il est vraisemblable que dans certaines conditions particulièrement favorables de pareils dépôts continuent à se former. Je rappellerai simplement que les eaux d'Afrique du Nord sont terriblement encroûtantes, « entartrantes » comme on dit ici. Il suffit d'avoir posé des conduites en Afrique du Nord pour savoir qu'il se forme très rapidement à leur intérieur des « dépôts de tartre » qui, par leur structure, ressemblent étonnamment aux croûtes. Or, il n'existe dans les conduites d'eau ni mouvement *per ascensum*, ni mouvement *per descensum*, ni climat tropical, mais l'action d'interface s'exerce dans des conditions particulièrement nettes. Si donc les eaux d'Afrique du Nord sont « encroûtantes » encore actuellement, comment s'étonner alors d'une extension des croûtes quand les conditions climatiques augmentèrent le volume des ressources hydrologiques ?

Je terminerai en invoquant encore une question de méthode. Sans doute les pédologues ont commis des erreurs, en quoi ils ne sont pas les seuls, l'erreur est humaine, c'est bien connu ; mais c'est la persistance dans l'erreur qui est diabolique. Et nous pouvons, je crois, éviter cette persistance en faisant un sérieux effort pour rénover nos méthodes d'étude. C'est là une proposition qui vise surtout l'organisation de notre prochain Congrès. Il faudrait, je pense, que les horizons qui seront sujets à discussion soient étudiés suivant les méthodes géologiques, que l'on examine surtout leurs conditions de gisement, que l'on recher-

che à quelles formations ils se rattachent à l'amont et à l'aval. Enfin, je renouvellerai la suggestion que j'ai déjà faite à Alger : notre prochain Congrès pourrait s'ouvrir par une conférence et un très large débat sur les climats du Quaternaire.

Intervention de L. Yankovitch

Ce n'est pas moi qui devrait intervenir dans cette question ; mes fonctions m'obligent à travailler principalement dans le domaine de l'agronomie générale où le sol est considéré simplement comme milieu physico-chimique de la culture de plantes.

Il me semble que l'on pourrait juger plus sûrement si l'on avait les résultats de quelques études concordantes menées par les méthodes de la chimie pédologique qui expliqueraient les déplacements des différents éléments constitutifs de sols.

Je me bornerai à des considérations générales :

La première est relative à la conception de certains géologues qui pensent que la croûte calcaire est formée pendant une période bien déterminée du quaternaire. En disant que j'ai vu des croûtes bien formées sur le Barrémien, Aptien, Cénomanién, Londinien, Eocène supérieur et pliocène, j'aurais l'objection que ces étages, s'ils ont été à découvert pendant cette époque déterminée du quaternaire, avaient la possibilité de se couvrir de croûte postérieurement.

Ainsi, je ne peux combattre la thèse de ces géologues qu'en montrant que les croûtes calcaires se forment encore de nos jours, devant nos yeux, sur toutes les roches mères contenant du calcaire.

Per *ascensum* ou per *descensum*? Jusqu'au cas des terres à croûte, cette question ne se posait jamais. Personne n'a parlé, il me semble, de la formation des podzols, des sols bruns de forêts, des rendzines, des sols bruns et gris de steppes et des latérites par *ascensum*. Ce procédé n'est admis que pour les solontchaks (= chotts) ou la nappe phréatique, proche de la surface, détermine l'ascension de l'eau par capillarité.

Or, la plupart des croûtes sont très loin de toute nappe phréatique. Elles existent souvent sur des calcaires durs fissurés où l'eau ne peut logiquement circuler que du haut vers le bas.

De plus, vous avez vu, dans le Midi, des terres pauvres en calcaire où vous avez pu constater que la couche supérieure de sol est toujours plus décalcifiée que les couches plus basses. Ce phénomène universel ne fait point défaut dans les terres calcaires. Et vous aurez certainement l'occasion de voir des terres à croûtes typiques en Oranie où la pluviosité annuelle de 600-300 mm. se rencontre fréquemment, vous verrez que là, sous le climat des sols à croûtes typiques, l'horizon supérieur est toujours plus ou moins décalcifié.

Ces faits montrent que les croûtes calcaires se forment *per descensum*, dans la majorité des cas.

Supposons une roche mère perméable (à 15 p. cent d'argile) et parfaitement homogène sur 2-3 m. de profondeur, où la nappe phréatique est à 15-20 m. de profondeur. L'eau de pluie chargée d'acide carbonique tombe à la surface, pénètre dans cette roche et se sature de calcaire sur les premiers 50-60 cm. de parcours. Si la pluie est forte, si l'eau s'infiltré au delà de cette profondeur, elle n'est plus capable de dissoudre du calcaire dont elle est déjà saturée.

La pluie s'arrête. Le vent sèche la surface du sol. Là, son rôle est terminé. N'avons-nous pas vu, dans les cases du Service botanique, ou de l'I. A. A., ou du Maroc, que l'eau d'une jachère se conserve pendant l'été, long souvent de cinq mois?

Mais la *plante*, surtout telle qu'un Lentisque ou un olivier, bien enracinée, prend cette eau pour ses besoins et en évapore une quantité considérable (deux tiers environ des pluies retenues par le sol). Au bout d'une année, le sol a changé : la surface (0-50 cm.) s'est légèrement appauvrie en calcaire, la couche suivante (1 m.) s'est légèrement enrichie, de 0 kg. 100 environ de CO^3Ca par an et par m^2 de surface.

Il est superflu de nous arrêter ici sur le calcul de la durée nécessaire pour qu'une croûte calcaire se forme, ni sur les variétés des sols à croûte. Nous en avons parlé dans notre « Étude pédo-agrologique de la Tunisie ». Il est suffisant que sous un climat où les infiltrations sont rares, le déplacement du calcaire du haut vers le bas est parfaitement concevable. Nous appuyons donc la thèse de Dranitzyne), la seule qui semble être en mesure de résister aux critiques.

SUR LE POUVOIR DÉCALCARISANT DE CERTAINS SELS DANS LE SOL

Par H. ROSEAU,

Directeur des Recherches d'agronomie
à l'École Nationale d'Agriculture d'Algérie.

Nous avons été conduit à cette étude en recherchant à quelles causes il convient d'attribuer le pouvoir toxique du chlorure de sodium dans le sol.

Nous nous sommes demandé si cette action n'était pas le résultat d'une décalcarisation en même temps que d'une élimination du calcium échangeable et de sa substitution par le sodium, qui confère à l'argile une mauvaise structure.

S'il en est ainsi, les méthodes de lutte contre les méfaits du sel par l'apport de sels de calcium, sous forme de sulfate ou de chlorure — trouveraient là leur explication.

Nous avons recherché, à côté du chlorure de sodium quelle était l'action décalcarisante d'autres sels :

Sulfate d'ammonium,
Chlorure d'ammonium,
Sulfate de potassium,
Chlorure de potassium,
Sulfate de sodium.

Pour cette étude, nous nous sommes inspiré de celle suivie par HISSINK pour le dosage du calcium échangeable dans les terres calcaires.

Nous avons appliqué cette technique sur deux types de terres de la plaine du Chélif, que nous suivons depuis 1940 dans nos cases lysimétrique. Un échantillon Aa, provient des alluvions dites anciennes de cette plaine, l'autre Ar des alluvions récentes.

Leur teneur en calcaire, déterminée par calcimétrie est la suivante :

Aa = 21,5 p. cent,
Ar = 23,7 p. cent.

Nous sommes donc partis de 25 gr de terre, que nous avons traités successivement par un premier litre, puis par un deuxième litre de

chacun de ces sels en solution normale. Le dosage du calcium dans les deux liqueurs de lixiviation, nous donnait :

1^{re} liqueur : calcium du CO^3Ca + calcium échangé,

2^e liqueur : calcium du CO^3Ca .

D'où d'après HISSINK :

Calcium échang. = calcium de la 1^{re} liq. — Calcium de la 2^e liq.

Les résultats obtenus avec ces différentes liqueurs d'extraction ont été :

Ca O entraîné (en mgr pour 100 gr de terre).

		LIQUEURS NORMALES UTILISÉES					
		$(\text{NH}^4)^2\text{SO}^4$	NH^4Cl	K^2SO^4	K Cl	Na^2SO^4	NaCl
<i>1^{re} liqueur de lixiviation.</i>							
Aa		1.750	1.405	431	414	695	611
Ar		1.715	1.469	392	308	611	562
<i>2^e liqueur de lixiviation.</i>							
Aa		1.350	1.009	112	73	232	188
Ar		1.560	1.045	102	67	418	188
D'où calcium échangeable (en mgr. de CaO pour 100 gr. de terre).							
Aa		400	396	319	341	363	423
Ar		155	324	290	241	193	374

Notons aussi que la durée de lixiviation a été différente avec les liqueurs employées. Il a fallu, pour faire passer les 2 litres de liqueurs, les temps suivants (exprimés en heures et minutes).

	$(\text{NH}^4)^2\text{SO}^4$	NH Cl	K^2SO^4	K Cl	Na^2SO^4	NaCl
Aa	4.15	5.40	4.00	5.35	11.40	8.40
Ar	4.55	11.20	4.25	4.40	40,00	24,00

Ainsi ces six liqueurs ont des actions différentes sur l'argile de ces deux terres.

Le lessivage de ces terres au moyen des liqueurs normales de $(\text{NH}^4)^2\text{SO}^4$, K^2SO^4 et KCl s'opère assez rapidement — l'argile de ces deux terres devant être constamment floculée. Il n'en est pas de même avec les liqueurs normales de NH^4Cl , Na^2SO^4 et NaCl , l'argile devant être facilement peptisée — surtout dans la terre Ar — la filtration est très lente.

Ceci montre bien la nature différente de l'argile — sans doute par son complexe absorbant — dans ces deux types de terre, et explique ainsi

leur comportement différent dans nos cases lysimétriques vis-à-vis de l'eau de pluie.

Les chiffres de CaO entraîné, nous conduisent aux remarques suivantes :

L'extraction du calcium échangeable dépend de la liqueur mise en œuvre : les chiffres obtenus varient avec les liqueurs employées, et ils dépendent, non seulement du cation utilisé, mais aussi de l'anion.

L'extraction du Ca échangeable et sans doute de tous les cations échangeables est donc conventionnelle. Il importe que l'on s'arrête à une méthode bien déterminée — ou bien que l'on indique sur le bulletin d'analyse la méthode utilisée.

Considérons maintenant le calcium extrait avec le 2^e litre de chacune de ces liqueurs. Il s'agit là, d'après HISSINK, du CaO provenant uniquement du CO^3Ca .

Ces chiffres traduisent donc le pouvoir décalcarisant de ces différentes liqueurs.

Le pouvoir décalcarisant du KCl est à peu près identique dans les deux types de terre (73 et 67) si nous posons qu'il est égal à 100 dans chaque type de terre, nous aurons pour les autres sels les chiffres relatifs suivants (colonne (3) et (4)).

	POUVOIR DÉCALCARISANT			
	Réal		Par rapport au pouvoir décalcarisant du KCl exprimé par 100/	
	Aa (1)	Ar (2)	Aa (3)	A ² (4)
K Cl	73	67	100	100
K ² SO	112	102	153	152
Na Cl	188	188	258	281
Na ² SO	232	418	318	624
NH ⁴ Cl	1009	1045	1380	1560
(NH ⁴) ² SO ⁴	1350	1560	1850	2330

Ces chiffres nous conduisent aux remarques suivantes :

Le pouvoir décalcarisant réel est identique chez les deux types de terre pour le KCl, le K² SO⁴, le NaCl et le NH⁴Cl. Il est par contre nettement différent pour le Na²SO⁴ et le (NH⁴)²SO⁴ autrement dit le pouvoir décalcarisant de ces deux sels varie d'une terre à l'autre.

Le pouvoir décalcarisant est fonction surtout du cation — le cation ammonium a un pouvoir décalcarisant beaucoup plus élevé que celui des deux autres cations — potassium et sodium.

L'anion joue aussi un rôle dans cette décalcarisation. Pour un cation donné, le sulfate est plus décalcarisant que le chlorure.

En conclusion le pouvoir décalcarisant des sels étant surtout dû au cation — le plus décalcarisant étant l'ammonium, le moins décalcarisant, le potassium — nous en déduisons au point de vue agronomique la nécessité d'apporter périodiquement de la chaux aux terres qui reçoivent des engrais ammoniacaux, pratique dont on peut se dispenser avec les engrais potassiques qui n'entraînent pas une décalcarisation aussi forte des terres.

(1) Nous laissons à part les cas où les pluies sont abondantes et où l'effet de la pluie en été.

CARTE SCHÉMATIQUE DE LA RÉPARTITION DES TYPES DE SOLS EN TUNISIE NOTICE EXPLICATIVE

Par L. YANKOVITCH.

Service botanique et agronomique (Ariana).

I. — EXAMEN SOMMAIRE DES FACTEURS PRINCIPAUX.

Le sol est une résultante de l'action, sur la roche mère que les mouvements orogéniques ont fait sortir à la surface terrestre, des facteurs physiques (température, quantité et qualité des eaux de pluies) et biologiques (importance, composition et transpiration de la couverture végétale; rôle des microbes et des êtres vivants divers).

La tradition scientifique est de décomposer l'ensemble du phénomène en ses composants et d'étudier chaque facteur à part. Or, l'étude devient compliquée, d'autant plus que c'est l'ensemble des facteurs qui détermine l'action pédogénique locale.

Il faut néanmoins dire quelques mots sur le rôle des facteurs principaux qui entrent en jeu en Tunisie, comme dans toute l'Afrique du Nord d'ailleurs.

Le pays n'étant pas très grand, l'étude de la *température* moyenne et des températures extrêmes ne fait pas ressortir de différences sensibles entre les principales régions (1). C'est ainsi que l'on peut prendre, sans erreur appréciable, la température de 10° comme moyenne de l'année pour l'ensemble du pays, le mois le plus froid ayant 9-10° et le mois le plus chaud 28°, avec des extrêmes de — 2° à + 50°. Ces températures sont, en somme, favorables à la croissance des plantes; l'hiver n'arrête pas complètement la végétation; l'été est moins facile à supporter parce que, si les plantes résistent facilement, pour la plupart, à une température de 28°-30° (moyenne du mois le plus chaud), elles sont gênées lorsque la température monte à 40° et elles souffrent indiscutablement par temps de siroco quand le thermomètre marque 45° et 50°.

On peut généraliser également sur la *répartition des pluies par saisons*. En effet, toute la Tunisie possède un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies d'hiver et par une absence pratiquement complète de pluie en été.

(1) Nous laisserons de côté les montagnes où l'hiver est un peu plus froid que dans les plaines, parce qu'elles ont peu d'importance pédologique pour une étude très sommaire.

La *pluviométrie* totale varie cependant beaucoup d'une région à l'autre, et si la région d'Aïn-Draham totalise 1.500 mm, il n'y a que 100 mm environ à Tozeur et encore moins dans le Sahara.

La pluviométrie est donc le facteur principal, dominant, que la pédogenèse suit fidèlement. On constate qu'en allant des régions les plus pluvieuses vers les plus sèches, on trouve en Tunisie quatre régions naturelles, auxquelles nous conservons les noms donnés par V. AGAFONOFF et L. YANKOVITCH.

A

La Tunisie du Nord-Ouest reçoit plus de 600 mm de pluie. Les premières précipitations d'automne sont déjà suffisantes pour réveiller la végétation herbacée. Cette dernière, se développant rapidement dans la terre encore chaude, forme :

a) Sur les roches mères contenant du calcaire, un gazon dense, bien enraciné, qui occupe la terre et qui s'oppose, par la transpiration, à un lessivage excessif du sol. La vigoureuse poussée des herbes au printemps dessèche le sol; les herbes meurent, et l'humus du sol se conserve relativement bien. C'est le *rendzina*, franchement noir sur une profondeur de 50 cm, 1 m, reposant sur une roche mère, crayeuse calcaire ou marneuse; il est abondamment représenté dans la région de Béjà et de Dougga; dans la terminologie russe, il lui correspond le terme de « tchernoziom de carbonates », c'est-à-dire tchernoziom formé sur des roches mères carbonatées.

b) Sur le grès de Numidie qui, le plus souvent, ne contient que des traces de calcaire, ce dernier est éliminé facilement par les pluies. Le sol sableux résultant de ce lessivage se prête à la *podzolisation*. Perméable et pauvre, il convient plus aux arbres qu'aux herbes, et on y trouve le chêne-liège, espèce calcifuge.

B

La Tunisie intermédiaire du Nord. — La dénomination « du Nord » est destinée à rappeler que c'est encore une région suffisamment pluvieuse. C'est une région assez vaste qui correspond à une pluviométrie comprise entre 600 et 400 mm et où se produit la plus grande partie du blé de Tunisie en assolement biennal. Cette quantité d'eau est suffisante pour que la terre soit imbibée à peu près tous les ans jusqu'à une profondeur de 2 m dans le cas des terres lourdes; mais il n'y a guère de lessivage du sol. La croissance de l'herbe commence ici plus tard que dans la zone A, la quantité d'humus est plus faible. Le calcaire, dissous dans la couche supérieure, descend dans la couche profonde du sol et, quand les plantes, au printemps, dessèchent le sol dans toute

sa profondeur, le calcaire précipité dans le sous-sol, forme peu à peu, au cours des siècles, une croûte calcaire. C'est la région de *terres à croûte*, dont la couleur est le plus souvent rouge ou brune.

a) En principe, toutes les roches mères contiennent du calcaire. On a des terres rouges à croûte et brunes à croûte.

b) Le grès de Numidie, pauvre en calcaire, se prête ici plus difficilement à la podzolisation; souvent, on y rencontre une sorte de tchernozion pauvre, faiblement coloré par l'humus; mais sur les étendues limitées, horizontales ou peu inclinées, du Cap Bon on trouve des podzols assez typiques (un peu à M'Raïssa, surtout à N.-O. et à N..E. de Toze-grane).

Le Centre. — Très sommairement étudié dans le travail de V. AGAFONOFF, le Centre est une région vaste, à pluviométrie comprise entre 400 et 150 mm, englobant tout le littoral est de Hammamet à Zarzis, et s'arrêtant vers le sud sur la ligne droite Gafsa—Gabès. Les terres ne sont pas complètement imbibées par les pluies d'hiver, sauf quand elles sont légères. Pratiquement, il n'y a pas élimination de substances se trouvant dans le sol, et, parallèlement au processus de formation des croûtes calcaires, qui persiste dans cette région, on constate l'*abondance de gypse* qui forme de *véritables croûtes* s'il est en quantité suffisante. Elles n'ont pas la même netteté que les croûtes calcaires, et ceci explique qu'elles sont peu remarquées et peu étudiées.

C

A une pluviométrie inférieure à 150 mm correspond la *région pré-désertique et désertique* où seuls les sables sont pratiquement utilisés par la végétation spontanée et où les terres lourdes sont pratiquement dépourvues de toute végétation. Les plantes sont adaptées à ces conditions spéciales de la vie du désert et possèdent soit des racines extrêmement développées en même temps que des dispositifs leur permettant de diminuer la transpiration, soit un cycle végétatif très court, de quelques semaines, qui leur permet de se développer après une pluie et d'être mûres avant que la terre ne soit desséchée. Les cours et les notes du professeur R. MAIRE montrent bien le cachet tout spécial de cette région qui, pratiquement, n'a de valeur agricole que tant que l'homme trouve de l'eau artésienne ou de l'eau dans les montagnes pour créer des oasis.

II. — QUELQUES MOTS SUR LES FACTEURS SECONDAIRES.

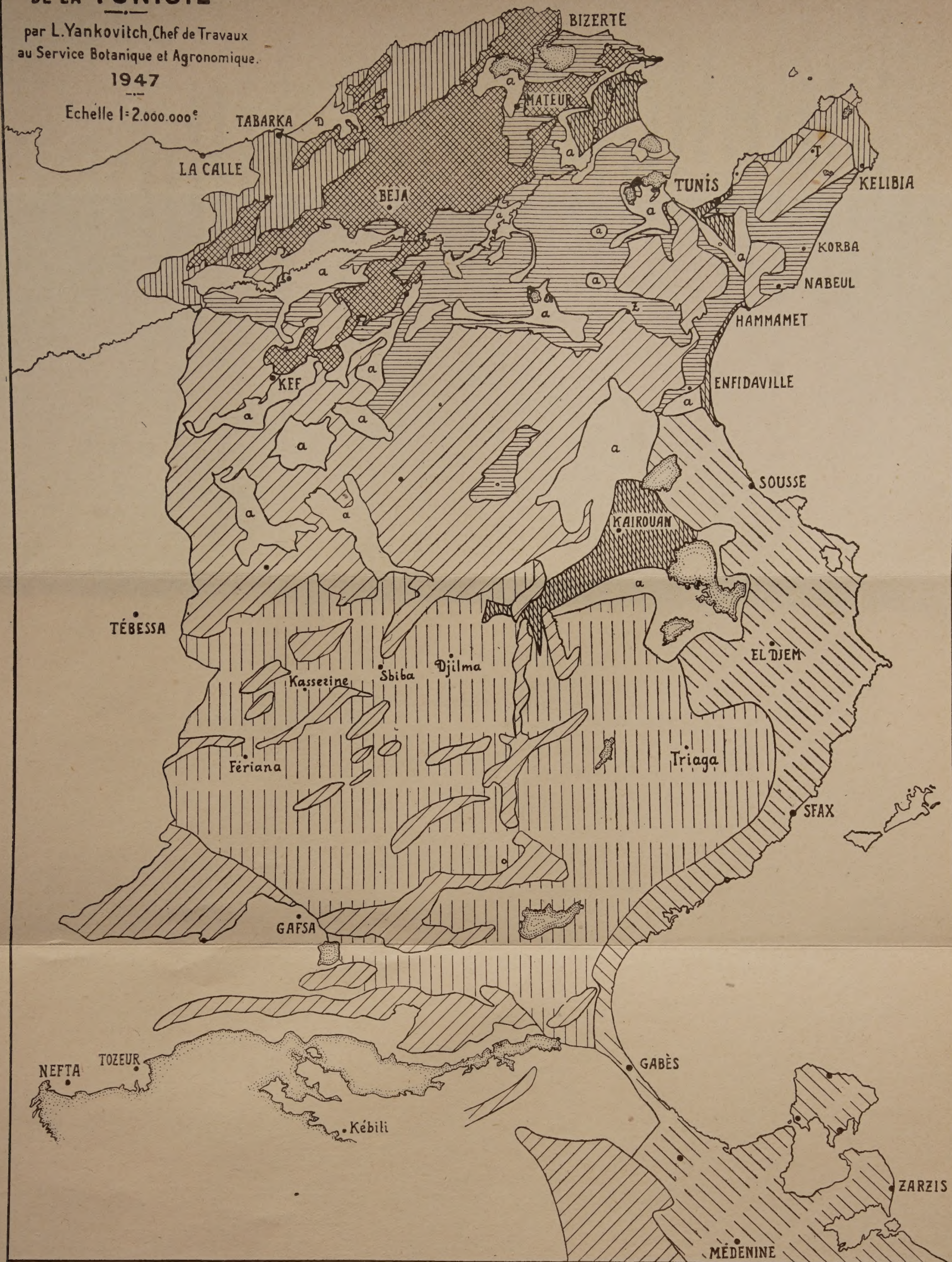
L'étude pédologique serait facile s'il n'y avait qu'un seul facteur principal (pluviométrie), les autres restant constants. Il n'en est rien dans la pratique. La nature des *roches mères* modifie à chaque instant

CARTE PÉDOLOGIQUE DE LA TUNISIE

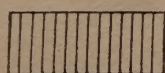
par L. Yankovitch, Chef de Travaux
au Service Botanique et Agronomique.

1947

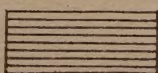
Echelle 1:2.000.000°



LÉGENDE :



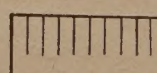
Podzol.



Terre à croûte.



Terre salée.



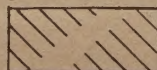
Sols steppiques
de la région éolienne
proprement dite.



Rendzina.



Montagne à
sols variables.



Sols steppiques
de la région côtière.

D - dunes. — a - alluvions.

les conditions de pédogénèse par la diversité de sa friabilité, de sa perméabilité et de sa fertilité. Le *relief* intervient également : dès que la pente devient quelque peu marquée, l'*érosion* par les eaux de ruissellement décape le sol, qui n'a pas le temps de se former. Dès que la pente devient trop faible, c'est l'*alluvionnement* qui apparaît, parce que les matériaux solides, charriés des montagnes, se déposent dans les plaines. Dès que la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol, nous avons une apparition des *terres salées*, inévitable à cause de la forte évaporation de l'eau en été.

L'*humidité atmosphérique*, difficilement saisissable d'après les statistiques météorologiques, est certainement très différente au printemps et en été sur le littoral, de Sousse à Gabès, d'une part et, dans l'intérieur, à Djilma, Kasserine et Feriana, d'autre part.

Le *transport éolien des matériaux* solides n'a jamais été l'objet d'une étude sérieuse, pourtant facile à réaliser; il n'y a aucun doute cependant pour ceux qui ont eu l'occasion de parcourir le pays d'un bout à l'autre, et qui n'ont pas pu ne pas s'apercevoir que, du sud au nord, la Tunisie présente une succession régulière des terres : aux sables du Chott el Djerid qui se prolongent un peu au nord de Gafsa succèdent les terres poussiéreuses des plateaux de Fériana, Kasserine et Djilma; au nord de la Dorsale, ce sont des terres argilo-calcaires à 30 % de calcaire et autant d'argile qui semblent naître d'on ne sait quoi : de l'air, pourrait-on dire, et l'on ne se tromperait guère. Ce n'est qu'au delà des monts de Khroumirie que s'efface le rôle du Sahara, générateur de tous ces éléments que le vent sec soulève et emporte, en les semant sur son parcours : les plus gros d'abord, les moyens ensuite, les fins dans le nord, les plus fins dans la Méditerranée même.

III. — DIFFICULTÉS DE L'ÉTABLISSEMENT D'UNE CARTE PÉDOLOGIQUE.

Les facteurs secondaires passés en revue créent une variabilité de sols presque extraordinaire, et la vision claire que l'on a dans l'esprit s'obscurcit à chaque instant par l'apparition de montagnes à roches mères variables et à sols squelettiques, par l'existence de plaines alluvionnaires, de terres salées et de terres éoliennes.

Comment tracer, dans ces conditions, la carte pédologique d'un pays à peine complètement parcouru et dans lequel les endroits visités sont distants souvent de 50 ou 60 km.

Des ébauches d'études existent, interrompues presque aussitôt que commencées. M^{lle} MALYCHEFF (3), ERHARD (2), AGAFONOFF (1) s'en sont occupés peu de temps chacun. Personnellement (4, 5, 6), des travaux d'ordre différents m'ont souvent empêché d'accorder à la pédologie autre chose qu'un effort d'observation. La Tunisie est, cependant, un pays

où vivent 3 millions d'habitants et ses terres pourraient, un jour, en nourrir 8 ou 10 millions. Il n'est pas exagéré de dire que leur étude mérite l'activité entière d'un technicien averti, voire même d'un service spécialisé.

Nous ne pouvons donc donner des sols de la Tunisie qu'une idée générale. Notre carte présente certainement d'importantes lacunes, des erreurs et des imperfections; étant basée sur des études insuffisantes, elle a souvent obligé à des généralisations peut-être illégitimes. Telle qu'elle est, il nous paraît certain qu'elle peut constituer un guide utile pour ceux qui auront à la perfectionner.

IV. — CARTE PÉDOLOGIQUE DE LA TUNISIE, 1947.

La carte pédologique présente est une reproduction à peu près fidèle de la « carte pédologique provisoire » de 1930 de V. AGAFONOFF et L. YANKOVITCH. Les seules modifications apportées concernent le Cap Bon qui a été étudié rapidement par L. YANKOVITCH (6) pour connaître les terres plutôt en vue de la replantation de la vigne atteinte par le phylloxera que du point de vue pédologique; elles concernent également le littoral, de Hammamet à Sousse, où quelques légères corrections sont apportées. Les affleurements de Trias sont confondus avec les autres montagnes, pour éviter d'inutiles complications. Enfin, nous avons marqué les principales terres salées là où elles couvrent des surfaces importantes.

Pour faciliter l'impression de la carte, nous avons remplacé les couleurs par des hachures différentes et nous avons jugé possible, vu que cette carte est destinée à donner seulement une idée générale, d'en réduire considérablement les dimensions.

Pour avoir quelques repères, nous avons dessiné l'oued Medjerda (seul) et nous avons marqué les lacs et les principales villes.

Bibliographie.

1. AGAFONOFF (V.). — Sols types de Tunisie (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, t. XII-XIII, p. 41-414, 1935-1936).
 2. ERHARD (E.). — Contribution à l'étude des sols de la Tunisie (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, t. III, p. 241-275, 1925).
 3. MALYCHEFF (M^{lle} V.). — Sur les sols podzoliques du nord-ouest de la Tunisie (*C. R. Ac. Sc.*, p. 466, 21 février 1927).
 4. YANKOVITCH (L.). — Étude pédo-agrologique de la Tunisie (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, t. XII-XIII, p. 415-560, 1935-1936).
 5. — Étude agrologique détaillée de la Tunisie, 1^{re} partie, région comprise entre l'oued Tine et l'oued Medjerda (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, t. XIV-XV, p. 155-264, 1937-1938).
 6. — 2^e partie, région comprise entre Tunis, Cap Bon, Korba et Grombalia (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, t. XVI-XVII, p. 245-300, 1939-1940).
-

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES SOLS DE L'EXTRÊME SUD MAROCAIN

Par Georges BRYSSINE,
Centre de Recherches agronomiques de Rabat.

(Sols de la région de Taouz et du Maïder Bouziane.)

La région du Maroc située au sud-est de la chaîne Atlasique, et qu'on désigne souvent sous le nom de l'Extrême Sud marocain, fait partie du bord septentrional du Sahara.

Climat. — Le climat de ces régions est caractérisé par la faible pluviométrie annuelle et par la température moyenne élevée. L'indice d'aridité de DE MARTONNE $\frac{P}{T + 10^{\circ}}$ le fait classer comme le climat aride.

Cet indice d'aridité ne varie pas beaucoup au cours de l'année. Le climat reste constamment désertique.

Il faut noter aussi la basse humidité relative de l'air et l'amplitude moyenne annuelle notable. Le tableau ci-après donne les caractéristiques du climat relevées au poste de Bou Denib, à 120 kilomètres au nord de Taouz.

PLUIE (P) en mm	HUMIDITÉ relative de l'air	TEMPÉRATURE moyenne T°	AMPLITUDE moyenne annuelle	INDICE d'aridité de de Martonne $\frac{P}{T + 10}$	QUOTIENT pluviomé- trique d'Emberger
109	41.0	19.3	22.3	5,6	6.4

Caractères géographiques. — La partie méridionale de cette région est composée de la Hammada — plateau désertique monotone, pierreux, recouvert d'une sorte de carapace calcaire (regg.) — Vers le nord, les assises supérieures de ce plateau ont été enlevées par l'érosion et il ne reste actuellement que le substratum primaire, fortement érodé, formant des massifs isolés émergeant des plaines alluvionnaires quaternaires qui les séparent.

La région de Taouz (lat. — 34° 3 Nord et long. 7° Ouest) est arrosée par deux grandes oueds descendant de l'Atlas du Nord vers le Sud : l'oued

Ziz et l'oued Rheris, qui ont creusé des vallées profondes dans ce substratum primaire.

Ils restent généralement secs presque toute l'année, mais charrient d'énormes volumes d'eau et inondent les plaines au moment des crues, lors des pluies ou de la fonte des neiges dans la montagne (actuellement la majeure partie des eaux de crues est retenue pour les irriga-



tions au nord de Taouz). Alimentés par des sources salées, les oueds sont relativement chargés en sels.

On peut distinguer, dans la vallée du Ziz, près de Taouz, trois éléments géographiques :

1^o Le lit majeur de l'oued, rempli d'alluvions récentes. Plaine de Rhemlia près de Taouz (a^1 de la carte géologique);

2^o Les berges plates surélevées constituées, en général, par des terrains primaires, supportant la dalle calcaire recouverte de sable (a^2 de la carte géologique);

3^o Les dunes (Erg Chebbi, Erg Znigui) qui suivent le Ziz à partir de Tafilalet et qui envahissent parfois le lit de l'oued ou de ses affluents (par exemple daya (1) de Merzougha).

Le Maider Bouziane, situé à 60 kilomètres à l'ouest de Taouz, est une vaste plaine alluvionnaire entourée de reliefs carbonifères et Devonien. Elle constitue le terrain d'épandage naturel des oueds Tazzarine, Has-

(1) Bas fond rempli d'eau au moins une partie de l'année.

saïa et Regg et comporte plusieurs zones. En amont, la zone des dunes terrestres de 7-8 mètres de haut couronnées de Tamarins et entre lesquelles ces oueds se ramifient. Vers le centre de la dépression le terrain portant au printemps une végétation herbacée abondante devient plus plat et les rides des dunes ne dépassent guère 1 mètre. Enfin, au centre même de la dépression on trouve une zone plate « absolument stérile ». « Maïder » proprement dit, couverte des sols dits « blancs ». Les oueds (généralement non salés) descendant du massif du Sarrho l'inondent périodiquement, deux ou trois fois par an. Elle se recouvre aussitôt après les crues d'une croûte argileuse très dure et compacte, finement craquelée.

Eaux souterraines. — Dans les régions prospectées, les eaux souterraines ne sont pas profondes. Elles se maintiennent, par exemple, à 5 mètres dans la zone dunaire du Maïder Bouziane, à 2, 30 mètres au pied des dunes à Merzougha, au nord de Taouz, dans la vallée du Ziz. Dans les bas-fonds de la daya de Merzougha elles affleuraient à la surface du sol au moment de notre passage (mars 1939).

Au point de vue chimique, elles présentent soit le facies chloruré (Merzougha), parfois chargé en sulfates (Poste de Taouz), soit le facies nettement sulfaté (Maïder Bouziane) avec prédominance, dans les deux cas, des cations alcalino-terreux sur le sodium, d'une part, et du calcium sur le magnésium, d'autre part.

La concentration en sels est souvent relativement élevée, elle peut atteindre dans certains cas jusqu'à 250 milliéquivalents grammes par litre.

FACTEURS DE LA FORMATION DES SOLS.

Comme cette étude a été faite à la demande des autorités locales dans le but de rechercher les possibilités de mise en valeur de ces régions deshéritées, elle porte principalement sur les sols des vallées alluvionnaires des oueds et des lisières de dunes, seuls endroits où l'agriculture soit possible. Elle nous a cependant permis de mettre en évidence quelques processus pédologiques prédominants dans ces régions.

L'élément climatique, la pluie, étant au minimum, d'autres facteurs interviennent dans la formation des sols dont l'influence dans les conditions climatiques plus tempérées, est masquée par l'action combinée de la température et de la pluie — ce sont les crues des oueds et le vent.

Les crues, dont l'action se fait sentir surtout dans les plaines alluvionnaires, agissent de différentes façons :

1^o Elles remplacent d'abord, dans certaine mesure, l'humidité atmosphérique déficiente et contribuent de cette manière à la formation des sols dans le sens strict du mot. Autrement, les processus pédo-

logiques observés (accumulation de l'humus, lessivage partiel des sols, mise en mouvement des solutions salines, que nous étudierons plus loin) ne seraient pas possibles;

2^o Les eaux d'oueds sont souvent chargées en sels solubles ou en carbonate de calcium qu'elles déposent ensuite sur les champs inondés, contribuant ainsi à la calcification ou au salage des profils;

3^o Les eaux de crues sont toujours plus ou moins troubles. En inondant les plaines elles y apportent et déposent, ensuite, les matériaux en suspension dans l'eau, contribuent ainsi à l'enrichissement des profils en éléments fins (surtout limoneux).

Le vent joue un rôle double, d'une part, il enlève les fines particules ne laissant sur place que des éléments grossiers sableux et, d'autre part, il apporte et dépose sur la surface des alluvions encore humides des particules plus grossières (sableuses).

En ce qui concerne des eaux souterraines dont l'action est analogue à celles des pays tempérés, leur influence se fait sentir là où la nappe d'eau est près de la surface.

Elles contribuent, d'abord, à l'humidification supplémentaire des profils et à l'apport d'éléments nouveaux (sels et calcaire) ensuite. Leur proximité près de la surface crée un milieu réducteur dans le sol avec des formations gleyeuses très visibles.

CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES DES PROFILS.

Sols alluviaux. — D'une manière générale ce sont des sols de couleur claire, marron-beige, à structure schisteuse et friable à la surface, plus agrégés en profondeur où elle devient en noisette ou en colonne de consistance moyenne, ou massive. Dans les champs cultivés l'horizon supérieur devient dur, compact et motteux. Par place, il a l'aspect d'une couche crouteïde.

Souvent la constitution du profil se complique par la superposition de plusieurs couches géologiques (alternance des sables et des limons) due à l'alluvionnement et à l'ensablement successifs.

Sables dunaires. — Les sables dunaires ne sont pas agrégés. Leurs profils sont uniformes sans horizons bien différenciés. Seule la coloration plus foncée de la couche supérieure indique la présence de l'humus.

Caractères analytiques.

RÉGION	VALLÉE DE L'OUED ZIZ				MAIDER BOUZIANE	
	Alluvions- Plaine de Rhemlia		Daya de Mer- zougha	Dunes		
Couches	limoneuses	sableuses	limoneuses	sableuses	limoneuses	sableuses
Fractions fines (argile + limon) ‰	4.50-57.21	9.2-27.1	14.9-20.1	4.9-15.9	78.4-89.7	11.4-59.0
Rapport $\frac{\text{argile}}{\text{limon}}$	0.97 (0.78-1.42)	1.05-1.40	1.17	0.24-2.31	Moyenne : 10-1.63 extrêmes : 0.77 et 2.24	0.10-1.25
Fraction grossière (sables fins + grossiers) %	2.0-17.5	43.7-71.9	58.4-69.3	71.0-90.1	4.2-16.3	24.5-84.1
% sable grossier	2.3-9.7 (22.0)	0.2-0.9	11.3-23.7	haut 11.3- 18.0 Bas 23.7-40.7	2.4-1.07	10-5.15
Calcaire	34.8-43.8	18.5-28.6	13.4-17.4	4.2-10.6	2.3-6.7	
Humus %	R-45 1.53-2.05	—	R-41 haut 1.24 bas 0.63	R-38 ⁽⁺⁾ 1.54	1.59-2.32	—
Oxyde de fer libre %	1.13-1.71	—	—	0.56-1.44	2.3-3.3	—
$\frac{\text{Fe}^2 \text{ O}^3}{\text{Argile} + \text{limon}} \times 100$	2.5-3.1	—	—	—	2.6-3.7	
Structure (tamisage) % d'éléments inf. à 2 mm	42.2-64.4	—	R-41 60.4-100.0	66.4-100.0	30.4-61.4 bas haut	46.6-100.0
pH	7.7-8.1		—	—	70-8.2	
Cl en m. éq. %	0.39-2.82	—	R-41 0.98-5.10	0.55-4.49	0.39-4.58	
SO4 en m. éq. %	tr.		1.83-5-93	0.33-6.65 Sauf R-40	0.58-3.16	
(1) Sous les palmiers.						

Composition physique. — Ce sont des alluvions fines, argilo-limo-
neuses dans la vallée de l'oued Ziz, plutôt limono-argileuse dans le
Maïder Bouziane, très pauvre en fraction sableuses (surtout en sable
grossier). Quand on passe aux dunes, la proportion des sables augmente
progressivement. Le sable grossier, contrairement à ce qui se passe dans

les alluvions, constitue la partie notable des sables des dunes. Dans les profils étudiés sa teneur augmente avec la profondeur.

Des formations superficielles de la vallée du Ziz sont calcaires (alluvions : 34,8-43,8 %, sables : 4,2-10,6 %), tandis que celles du Maïder Bouziane n'en contiennent que de 2,3-6,7 %. Dans les profils étudiés, le taux du calcaire varie, d'une manière générale, proportionnellement à la teneur en éléments fins, c'est-à-dire à l'augmentation du taux de la fraction argile + limon correspond la teneur plus élevée en calcaire. Mais les intercalations sableuses sont relativement plus calcaires que les alluvions argilo-limoneuses. Ainsi le rapport $\frac{\text{CO}^3\text{Ca}}{\text{argile} + \text{limon}} \times 100$ varie entre 74-83 dans les alluvions et 100-198 dans les sables.

On observe le même phénomène dans les sables : c'est-à-dire l'augmentation du taux du calcaire est proportionnelle à l'enrichissement en fractions fines. Mais en outre, sa teneur semble augmenter du bas vers le haut, surtout dans les profils où la nappe souterraine n'est pas loin de la surface. Il est possible que dans ce cas cela soit dû à la remontée capillaire des solutions salines à partir de la nappe, car, d'une manière générale, les courbes de la répartition du calcaire tout le long des profils sont analogues à celles des sels solubles (chlorures et sulfates).

Ces sols sont relativement riches en humus. Dans les sols alluvionnaires son taux atteint et même dépasse 2,0 %. Dans les parcelles cultivées des dunes (sous les palmiers) il atteint 1,54 %. Enfin dans la daya de Merzougha on trouve à la surface 1,24 % et 0,68 % en profondeur.

Le taux de l'oxyde de fer libre est élevé (2,5-3,0 % dans les sols de Maïder Bouziane). Sa répartition dans les profils semble être en relation avec la teneur en éléments fins. Le rapport $\frac{\text{Fe}^2\text{O}^3}{\text{argile} + \text{limon}} \times 100$ varie peu le long du profil. Dans les sables le fer semble augmenter vers la surface.

Structure (tamisage à l'état sec). — Le taux d'éléments structuraux supérieurs à 2 mm augmente avec l'enrichissement en éléments fins. Les sables dunaires et les intercalations sableuses sont peu ou pas agrégés.

En outre, nous pouvons observer que les profils situés dans les endroits qui reçoivent les eaux de crues (R-35 du Maïder Bouziane, R-44 et R-45 de la plaine de Rhemlia, R-41 de la Merzougha) sont plus structuraux que ceux qui se trouvent, par exemple, à la lisière des plaines alluvionnaires.

Capacité d'échange des bases. — La capacité d'échange des bases de ces sols alluvionnaires est faible : 16,3-20,1 m. éq % dans le profil 12-35,

9,6 m. éq (couche limoneuse), 4,6 milliéquivalents (couche sableuse) dans le propre R-44 : 13,4 milliéquivalents dans le profil R-45.

Dans certains cas, on constate la présence de Na absorbé dont les doses peuvent atteindre des valeurs élevées et prohibitives pour la croissance des plantes. Voici quelques chiffres.

NUMÉRO	PROFONDEUR en cm	TENEUR en milli- équivalents	% de la capacité d'absorption
R—35	13-35	3.0	16.8
R—44	15-9	2.9	30.0
R—45	20-30	6.9	75.0

Réaction. — Ce sont des sols basiques. Dans les sols calcaires de la plaine de Rhemlia le pH oscille autour de 8. Par contre, dans les alluvions non calcaires du Maïder Bouziane, ses variations sont beaucoup plus importantes : 1) le pH augmente avec la profondeur; 2) il diminue quand on passe du centre du Maïder (R-35—pH : 7.6-8.3) vers les dunes (R-37—pH : 7.0—7.2), avec le profil intermédiaire R-36 prise dans le Maïder au pied de la colline (pH : 7.2—8.1).

Salure. — Dans la vallée de l'oued Ziz (plaine de Rhemlia) la salure, assez élevée à la surface (2.51—2.93 milliéquivalents), diminue avec la profondeur, puis augmente à nouveau. Elle est caractérisée par la présence des chlorures et l'absence presque complète des sulfates. Il est probable que les eaux du Ziz salent les alluvions et les sels déposés remontent vers la surface.

Le même phénomène s'observe dans la daya de Merzoug et au pied des dunes, surtout là, où les eaux souterraines plus ou moins salées sont près de la surface. Ici on trouve des doses assez notables des sulfates mais ce sont des chlorures Cl qui prédominent.

Dans le Maïder Bouziane la salure augmente avec la profondeur, où on trouve des véritables zones d'accumulation. La salure, élevée au centre (profil R-35—1.48 milliéquivalents à la surface jusqu'à 6.96 en profondeur) diminue vers la périphérie (R-36—1.06—2.68 milliéquivalents). Au point de vue de la composition chimique, elle est caractérisée par la présence simultanée des chlorures et des sulfates. Ces derniers prédominent dans les couches superficielles.

Cette répartition des sels laisse supposer, d'après POLYNOFF, le lessivage partiel des sels par les eaux douces de crues d'hiver. Il est probable qu'au printemps, quand le sol est encore humide, les sels remontent à nouveau vers la surface.

En résumé, les formations superficielles terrestres de l'Extrême-Sud marocain évoluent dans les conditions du climat désertique. Les principaux facteurs qui forment et modifient les sols, sont le vent et les crues des oueds, deux facteurs d'ordre plutôt géologique, agissant continuellement et remplissant, dans certaine mesure le rôle des processus pédogonétiques des régions plus tempérées.

Là où la nappe phréatique est proche de la surface, les eaux souterraines interviennent aussi et agissent comme facteur pédologique, contribuant à la pédogénèse du sol. Grâce à ces facteurs, les sols peuvent se former et évoluer dans ces conditions désertiques. Les profils des alluvions rappellent ceux des sols gris désertiques, mais plus riches en humus et plus structuraux.

La plupart des profils étudiés sont salins. La salinité des sols permet de créer parmi les types de chaque région des sous-types, caractérisés par le degré de salure et la composition des sels. L'origine de la salure des terres est différente, elle est due tantôt à la salure originelle des alluvions, tantôt à l'apport des sels par des eaux souterraines.

Dans certains cas, l'action des sels sur les sols est profonde. Elle conduit à l'absorption du Na par le complexe absorbant, dont le taux peut devenir nuisible.

Les possibilités de l'utilisation immédiate de ces sols sont, à notre avis, très restreintes, dans l'état actuel des choses. Au point de vue pédologique ils ne représentent rien d'anormal. Placés dans d'autres conditions climatiques ces terrains auraient pu donner naissance aux sols alluvionnaires fertiles, comparables aux dess (alluvions) du Maroc du Nord. Mais dans les conditions climatiques désertiques, où ils se trouvent actuellement, il leur manque de l'eau pour créer la vie continue. Le problème devient donc hydrogéologique : trouver l'eau nécessaire non salée et en quantité suffisante.

L'AFRIQUE CENTRALE, TERRE QUI SE RÉGÈNÈRE

Note de J. MEULENBERGH,
Service géologique de Léopoldville (Congo).

présentée par L. DE LEENHEER,
Professeur à l'Institut agronomique de Gand (Belgique).

Résumé.

Cette communication, traitant de la régénération de sols en Afrique centrale, combat la thèse communément répandue suivant laquelle la forêt équatoriale africaine serait en régression et la situation alarmante en ce qui concerne l'avenir du couvert végétal au Congo. (Cf. J.-P. HARROY, *Afrique, terre qui meurt*. Bruxelles, 1944.)

Des observations et photographies aériennes faites pendant plus de deux mille heures de vol, s'étendant sur une période d'environ dix ans, ont établi avec certitude que le phénomène de la régénération des sols et de la couverture forestière est en cours, non seulement sur des superficies considérables du territoire du Bas-Fleuve (Congo belge), mais également dans tout le Bas-Congo, et dans d'autres régions du Congo belge, comme le Kwango et le Kivu.

La documentation photographique abondante, dont quelques photos seulement sont projetées au cours de la communication, sera publiée dans un travail de J. MEULENBERGH, avec la collaboration de L. DE LEENHEER, et G. WAEGEMANS, intitulé « Introduction à l'Étude pédologique des sols du territoire du Bas-Fleuve (Congo belge) », qui sera édité vers la fin de cette année par les soins de l'Institut Royal colonial belge (Bruxelles).

La régénération de la forêt n'est pas toujours l'effet de l'érosion, qu'elle soit linéaire ou en forme de cirque, mais s'observe souvent sans aucune influence apparente de l'érosion et se traduit alors soit par une extension de la forêt, soit par une végétation plus dense de la savane.

Une carte forestière du territoire du Bas-Fleuve, dressée au moyen de photographies aériennes à l'échelle 1/200000, nous permet de reconnaître et de délimiter six zones forestières différentes, et de reporter les endroits où le phénomène de la régénération des sols est en cours.

Pour permettre de mieux saisir tous les facteurs qui peuvent avoir une influence sur l'érosion et la régénération des sols, des cartes et des croquis sont présentés illustrant la pluviométrie, la morphologie, la géologie et les profils des différents types de terrains meubles de surface.

**OBSERVATIONS SUR LES FORMATIONS VÉGÉTALES
ET LES SOLS HUMIFÈRES
CORRESPONDANTS DES MONTS BENNA
ET DU FOUTA DJALLON (GUINÉE FRANÇAISE)**

Par Charles KILLIAN et Raymond SCHNELL.

(Faculté des Sciences, Alger).

Les montagnes guinéennes, parcourues par les auteurs en 1944, depuis la Basse-Côte jusqu'aux confins septentrionaux du Fouta Djallon, comportent une végétation typiquement tropicale avec des brousses arbustives, des savanes arborées, des forêts claires, plus ou moins xérophiles, et surtout des îlots de forêts hautes qui représentent des derniers restes d'une ancienne végétation puissante, dégradée actuellement par le pacage. L'opposition entre ces vestiges forestiers dans les régions basses et les îlots forestiers d'altitude se manifeste, dans tout le massif, par la présence de certaines espèces indicatrices arborescentes.

Notre attention s'est portée principalement sur le problème de la dégradation de l'humus, due au facteur humain et favorisée par le pluies diluviennes. Elle aboutit en définitive à la formation des « bowals », dalles gréseuses dénudées, très typiques pour tout le massif guinéen.

Nous avons étudié cette dégradation pour les horizons humifères en dosant les différentes fractions de l'humus, suivant la méthode de Waksman, et nous avons mis en parallèle ces chiffres avec nos observations relatives à la régression de la flore. Les résultats ont été présentés sous forme de graphiques des caractéristiques essentielles de l'humus, superposées aux profils des montagnes.

Parmi ces caractéristiques nous avons choisi les taux de l'équivalent d'humidité (E), de l'hygroscopicité (H), de la lignine (L), typique pour l'humification, et des cendres résiduelles (C) qui caractérise la deshumification.

Au Mont Benna, dans le Sud, avec ses hautes falaises gréseuses (870 m) on rencontre d'abord une brousse arbustive, de moins en moins xérophile en altitude, passant insensiblement à une véritable forêt haute. Le sommet aplati est occupé par une prairie marécageuse basse. Dans tous nos prélèvements les facteurs E et L sont faibles, la lignine souvent nulle.

Plus au nord, le Mont Gangan (1.115 m) présente comme particularité d'avoir ses flancs dénudés et rocheux couverts de marécages en miniature. Ceux-ci sont remplacés, vers le haut, par une brousse arbustive et une forêt basse, et vers le sommet par une forêt de moyenne grandeur. Si les caractéristiques relevées sur les pentes rappellent celles

du Mont Benna, celles trouvées plus haut, sous un épais couvert forestier, présentent une hausse nette des L H et E et une baisse correspondante du C.

Plus vers le Nord, au pied du Mont Tinka (1.290 m) un prélèvement fait dans un sol marécageux d'une forêt de fougères arborescentes, donc dans un milieu riche en résidus végétaux, en même temps très humide et relativement limoneux, nous montre une nouvelle hausse de ses caractéristiques (surtout de la lignine). Tout autrement sur les pentes où la perméabilité du sol, fortement accrue, déprime, au contraire, ces caractéristiques. Ceci change tout près du sommet, dans un taillis, sous un fouillis très dense de lianes, où nous avons repéré l'humus le plus foncé, observé en Guinée.

Passant à Mali, rebord septentrional du plateau foutanien, nous y avons trouvé principalement des prairies arborées avec des transitions à la savane qui fréquemment se dégrade en bowals. La nature plus ou moins argileuse du sol a comme conséquence de diminuer sa perméabilité, d'où un taux plus élevé de lignine (sauf aux endroits marécageux très lessivés).

Au sommet du Mont Loura (1.490 m) nous avons pu étudier une terre noire, tourbeuse, de formation récente, constituée par la végétation d'une Cypéracée, *Eriospora pilosa*, qui donne un excellent humus, même en dehors de toute couverture végétale.

Elle produit sur les dalles rocheuses dénudées, à partir de ses rhizomes et de la base des feuilles, des mottes tourbeuses pouvant constituer un substratum pour la germination d'autres végétaux. Ce sol noir, d'une excellente qualité colloïdale et comparable aux meilleures qualités d'humus rencontrées sur notre territoire, représente un agent puissant de réhumification, freinée cependant par la pratique des feux de brousse.

En ce qui concerne les facteurs du milieu en rapport avec cette humification ou deshumification, ni la topographie, ni la puissance des formations végétales ne la déterminent directement. On observe généralement une humification importante dans les vallées et une deshumification sur les sommets. Mais une forte humification a été rencontrée également sur les pentes ou sur les sommets, qu'il s'agisse de forêt primaire ou de brousse secondaire, partout où le couvert forestier était suffisamment épais.

Au contraire la deshumification domine là où, par suite du déboisement, l'humus s'effrite en saison sèche et qu'en saison humide il est surabondamment lessivé. Le plateau du Mont Benna en fournit le meilleur exemple.

Parmi les autres facteurs influant l'humification, les auteurs ont particulièrement insisté sur leur perméabilité des sols à l'eau.

LES SOLS DU SÉNÉGAL

Au nord de la Gambie britannique.

Par G. AUBERT et R. MAIGNIEN.

Office de la Recherche scientifique coloniale.

Ne possédant sur les sols de l'Est et du Sud-Est du Sénégal (région au long du Sénégal et de la Falémé et cercle de Kédougou) ainsi que sur ceux de Casamance que des résultats analytiques trop restreints, nous nous bornerons à n'étudier, du point de vue de leur formation et de leur évolution, que les sols des régions situées au Nord de la Gambie britannique, en nous limitant, à l'Est, à un peu au delà de la ligne Bakel—Goudiry. Les sols de la limite orientale de la colonie du Sénégal ont un caractère nettement soudanien et ne se rattachent guère à ceux du reste du Sénégal. Par contre, nous empiétons quelque peu sur la région sud-occidentale de la Mauritanie.

CARACTÈRES ESSENTIELS DES PRINCIPAUX FACTEURS D'ÉVOLUTION DES SOLS — LE CLIMAT (1).

La région étudiée est soumise à un climat tropical à saisons alternantes, semi-aride dans le Nord, semi-humide dans le Sud.

La pluviométrie est comprise entre 75 et 250 mm par an au Nord du Sénégal. De l'ordre de 300 à 450 mm par an, elle est répartie sur quatre mois dans la vallée du Sénégal. Elle l'est sur six mois et atteint 800 mm à 1.100 mm, suivant les points, au long de la Gambie. Sur six à huit mois, suivant les zones, s'étend une longue saison sèche très chaude.

La température reste toujours élevée. La zone est comprise entre les isothermes annuels de 29° au Nord et à l'Est et de 27° au Sud et 25° à l'Ouest.

Dans la partie septentrionale, les maxima moyens mensuels passent de 25° à 30°, suivant les points en janvier, à 30-40° en juillet; dans la partie méridionale, de 28-30° en janvier, à 33-40° en mai. Les températures extrêmes peuvent atteindre 47 à 49° (Koalack, Tambacounda, Linguère, Bakel et Atar).

(1) Les sols ont été prospectés lors de l'exécution d'une mission pour l'étude des sols à arachides, dont faisait partie aussi J. DUBOIS, de la Station expérimentale de l'arachide à Bambey, et avec la collaboration du personnel du Service de l'Agriculture au Sénégal.

Les vents sont surtout violents pendant la saison sèche. Ils dominent alors de l'est et du nord-est. Pendant l'hivernage, ils viennent du sud-ouest.

Les zones climatiques distinguées par les géographes dans cette région sont, à part la bande littorale de Bathurst au sud de Saint-Louis, à peu près parallèles entre elles et horizontales. Suivant E. DE MARTONNE, il ne s'agit que d'un type climatique, dit Sénégalien. H. HUBERT, divise, au contraire, toute cette région en zones Sahélienne Sud et Soudanienne Nord; une bande littorale étroite appartenant au climat subcanarien Sud (2).

LES ROCHES. (3).

Mis à part quelques pointements basaltiques que nous n'avons pas étudiés, presque toute cette région est recouverte par un manteau sableux plus ou moins épais.

Le littoral de Dakar au nord de Saint-Louis est occupé par des dunes actuelles. Celles que l'on observe, surtout dans la zone nord, plus à l'est ont été fixées par la végétation. Certaines redeviennent mobiles à la suite d'une destruction de cette végétation et d'une culture trop intense.

A l'est et au sud de la voie ferrée Dakar—Thies—Louga — et même déjà un peu à l'ouest de cette ligne, dans la région Thies—Mekké—Kébémér, — le recouvrement sableux qui se continue à travers tout le pays n'a plus cet aspect dunaire que par places et il n'est souvent que peu épais. Il recouvre alors soit les formations eocènes ou les couches de passage du Crétacé, soit le grès argileux du miopliocène.

Les premières affleurent par places, soit en simples taches au milieu des sables, soit, dans la région Thies—M'Bour—Rufisque—Dakar sur de plus grandes étendues. Elles sont constituées par des calcaires durs (Bargny) ou des marnes (Sebikhotane). Les grès miopliocènes sont assez argileux et riches en fer. Ils sont généralement bariolés.

D'autres sédiments se retrouvent assez fréquemment, n'apparaissant que par plaques, dans les provinces du Cayor et du Baol : des calcaires blanchâtres, tendres, gréseux, généralement de faible épaisseur.

Enfin, en bandes étroites tout au long des vallées, et très largement étendues en certains points comme à l'embouchure du Sine-Saloum, s'observent des dépôts sablo-limoneux, parfois argileux dans les vallées, beaucoup plus argileux dans les zones littorales. Dans les vallées, sauf dans le très bas cours où ils peuvent être alluviaux, ils paraissent d'origine colluviale.

Ce n'est que presque en limite du territoire que le grès miopliocène fait place aux séries primaires, schistes et quartzites principalement.

Végétation. — La région envisagée est divisée par TROCHAIN (2)

en domaine sahélien, comprenant un secteur sahélo-saharien au nord de la ligne Saint-Louis—Kaédi, et un secteur sahélo-soudanien, entre cette ligne et celle qui rejoint Tivaouane à Bakel; un domaine soudanien, avec le secteur soudano-sahélien, qui s'étend jusqu'à Foundiougne, le Nord de Nioro du Rip et le Nord de Tambacounda, et le secteur soudano-guinéen dont les sols étudiés ne couvrent qu'une faible partie; et un domaine sub-guinéen constitué par le pays des Niayes, et par les reliques forestières de la petite côte qui ne rentrent pas dans le cadre de cette note.

Dans le premier domaine s'étend la savane arborée où dominant, suivant les zones, *Acacia tortilis*, dans le Nord, *Combretum Glutinosum* ou *Faidherbia albida* dans le secteur méridional; *Acacia Seyal* là où le sol est plus compact; *Acacia scorpioïdes* dans les points périodiquement inondés. Dans le domaine soudanien, la végétation arborée est plus dense; *Combretum Glutinosum*, *Faidherbia albida* et *Acacia Seyal* sont les espèces les plus importantes à l'ouest, *Combretum glutinosum* et *Combretum eliotii* à l'est.

Dans les Niayes s'étendent les palmeraies d'*Elaeis guineensis*.

Enfin, dans les régions littorales et sub-littorales, se développent des groupements dont la répartition est essentiellement influencée par le substratum, en particulier les groupements des terrains salés.

LES SOLS

Parmi les sols ayant subi une évolution au moins assez prononcée sur place, certains présentent des profils simples ne correspondant qu'à un seul type d'évolution; d'autres, au contraire, des profils complexes où plusieurs cycles d'évolution ont laissé leur trace. Les sols peu évolués existent au Sénégal, mais ils ne forment pas la majorité du pays comme cela a, parfois, été indiqué. Le caractère qui domine dans la pédogénèse actuelle est le mouvement d'entraînement des éléments, le lessivage (4). La texture très sableuse des sols, surtout dans la zone Nord, facilite ce phénomène et réduit ou même empêche les processus de remontée des solutions.

Les sols à faible altération chimique, c'est-à-dire les sols des déserts, comprenant les quatre types habituels : ergs, regs, regs sableux et sols en chaussées, n'apparaissent qu'en Mauritanie au nord de Nouakchott. Dans toute la région ici étudiée, les sols se forment par altération chimique aussi bien que désagrégation physique. Le « désert » du Ferlo n'est pas plus « désertique » du point de vue de ses sols que de sa végétation.

Sols subissant des mouvements de remontée des solutions. — Nous ne placerons dans cette classe que les sols gris et les sols à gravillons ferrugineux superficiels. Certains sols salés pourraient aussi s'y trouver.

Les *sols gris* s'étendent en Mauritanie jusqu'un peu au nord du fleuve Sénégal (environ 70 km au nord de Rosso). A Tiguent, le profil est le suivant :

de 0 à — 30 cm, horizon sableux, gris clair, parfois un peu rosé, à peine plus foncé en surface, où il comporte un peu de matière organique, grossière, non humifiée;

de — 30 à — 150 cm, horizon limono-sableux, beige clair, à peine grisâtre, un peu plus compact; quelques traces de racines, soulignées de tache ferrugineuses, tout au long.

en dessous de — 150 cm, sable blanchâtre assez grossier, légèrement limoneux.

La teneur des différents horizons en chaux échangeable est faible, mais elle est plus élevée en surface. Il en est de même pour leur teneur en fer libre, qui, par contre, augmente en profondeur.

La végétation est une steppe très ouverte à graminées avec des acacias de petite taille.

Souvent ces sols gris sont un peu durcis en surface sur 1/2 à 1 cm environ.

Une variété des sols gris subdésertiques est le *sol rouge subaride* qui s'étend immédiatement au nord de la plaine alluviale du Sénégal (par exemple au nord de Rosso, à Mederdra, etc...).

Les *sols à gravillons ferrugineux superficiels* n'apparaissent que rarement. Nous ne les avons observés qu'en zone limoneuse.

A Richard Toll, juste au sud du fleuve Sénégal, dans une partie limoneuse de la plaine alluviale, le profil du sol se présente ainsi :

de 0 à — 5 cm, horizon limoneux, gris rosé, contenant de petites concrétions ferrugineuses de moins de 1 cm 5 à 2 cm de diamètre, assez arrondies, parfois légèrement allongées verticalement, et des taches de teinte rouille;

de — 5 à — 80 cm, horizon limono-argileux, brun, compact en dessous de — 80 cm, masse plus limoneuse, de couleur gris acier.

La nappe d'eau est à faible profondeur.

Sols très peu ou peu lessivés. — Cette classe de sols comprend les sols châtaîns et bruns subarides et les sols noirs sur roches calcaires.

Sols châtaîns et sols bruns subarides. — Dans le nord-ouest du Sénégal et le sud-ouest de la Mauritanie, les bandes de terrains situées entre les dunes comportent des sols à la texture encore sableuse, mais plus limoneuse que dans les dunes elles-mêmes, et qui peuvent être rattachés à la série des sols steppiques, subarides : sols châtaîns dans la région comprise entre Louga et la vallée du Sénégal, sols bruns en Mauritanie ou en quelques points au sud du fleuve, comme auprès du lac de Guiers (Merinaghen).

Ces sols, plus compacts, de textures plus fine, et placés en bas-fonds retiennent mieux l'eau que ceux des dunes voisines; aussi sont-ils couverts par une végétation plus dense, très riche en graminées. Cette meilleure croissance des plantes peut être aussi due à une moindre pauvreté chimique, en particulier en chaux échangeable comme le montrent les tableaux ci-dessous. D'ailleurs les sols châtaîns et plus encore les sols bruns s'observent aussi dans la même région et plus au Sud, là où les sédiments calcaires — calcaires gréseux tendres, en particulier — affleurent en taches plus ou moins étendues au milieu des sables (Gassane, Coki, Kébémér).

Ces sols bruns et châtaîns sont caractérisés, au Sénégal, par leur réaction voisine de la neutralité, parfois légèrement alcaline malgré leur pauvreté en calcaire — souvent celui-ci est indosable dans ces sols — et leur teneur en matières organiques et en fer libre. Ce dernier est parfois légèrement lessivé en surface, de même que l'argile. La moindre teneur en éléments fins dans les horizons superficiels peut y être d'ailleurs due, parfois à l'action de l'érosion.

Un sol châtain observé entre Louga et M'Pal présente le profil suivant :

de 0 à — 5 cm, horizon sableux, fin, gris châtain, un peu humifère, assez grumeleux, mais très friable.

de — 5 à — 25 cm, horizon châtain rougeâtre, un peu plus rouge et plus compact que l'horizon supérieur;

de — 25 à — 140 cm, horizon châtain, moins durci et moins compact;

de — 140 à — 200 cm, horizon sableux, encore un peu limoneux, beige;

en dessous de — 200, sable limoneux blanc grisâtre.

L'analyse des horizons de ce sol, comme de celui de Diahène-Galaïel ne dénote (cf. tableaux ci-dessous) qu'un faible entraînement de fer libre. Il est au contraire plus important dans le sol de Gassane, situé plus au sud-est.

Un peu à l'ouest du Lac de Guiers, au nord de Merinaghen, le profil d'un sol brun, développé dans une zone faiblement ondulée, est le suivant :

de 0 à — 55 cm, horizon sableux, un peu limoneux, gris assez foncé, humifère surtout au-dessous de 10 cm, assez grumeleux;

de — 55 à — 85 cm, horizon plus compact, brun moins foncé; structure moins grumeleuse, à tendance prismatique;

de — 85 à — 180, horizon sableux, de plus en plus clair, passant graduellement à un sable beige jaunâtre, puis

au-dessous de — 180 cm, à un sable blanc jaunâtre, non calcaire.

Sur sables calcaires, parfois un peu marneux, comme à Kébémér, à Coki, ou à l'est de Louga sur la route de Linguère, ces sols bruns

sont le plus souvent décalcifiés, ou très peu calcaires, dans les horizons supérieurs.

Sur ces différents sols, sols bruns comme sols châtons, la végétation est constituée essentiellement par une savane arbustive, parfois assez dense (Gassane), le plus souvent très lâche (nord de Louga, sud de la Mauritanie) à *Acacia*. Dans tout le Nord du Sénégal, l'espèce dominante sur ces sols est *A. Seyal*; *A. tortilis* venant ensuite. A Merinaghen, où le sol observé avait été cultivé les années précédentes, la base du peuplement était *Callotropis procera*. Parfois cette formation végétale fait même place à une pseudosteppe à graminées surtout *Schoenfeldia gracilis*, et *Chloris Prieurii*, *Ctenium elegans*; aussi *Aristida sp.*

Sols humifères sur calcaire. — Les calcaires et les marnes qui affleurent de Rufisque à Thies ont donné naissance à une série de sols très humifères qui peuvent se répartir en deux groupes :

1^o Des rendzines typiques, peu épaisses, de 30 à 50 cm environ — riches en matières organiques, contenant de nombreux cailloux calcaires et présentant une structure généralement grenue.

Parfois plus épais et plus compacts, ils peuvent être rattachés aux sols bruns calcaires. Ils sont alors un peu moins secs que les premiers.

2^o Des sols humifères profonds sur les marnes et calcaires marneux (Sébikhotane). Ils peuvent atteindre 1 m 20 et plus, de puissance. Par certains de leurs caractères morphologiques, ils se rapprochent des sols de la série des chernozems : teneur élevée en matière organique fortement humifiée, et saturée en calcium, structure grenue stable, etc...; par ailleurs, ils en diffèrent par leur richesse en calcaire dans tous les horizons, même superficiels, et la faible épaisseur — 20 à 30 cm seulement — de leur horizon très grenu.

En quelques cas seulement, ils présentent un pseudo mycélium calcaire vers 1 m ou 1 m 20 de profondeur.

Ces sols sont un pédoclimat très sec. Ils diffèrent ainsi totalement de ceux, très humifères aussi, formés plus au Nord, en conditions semi-marécageuses.

Sols lessivés. — Une très grande partie des sols du Sénégal présentent dans leur profil des traces indiscutables d'une forte migration des éléments en profondeur. Dans certains, l'accumulation de ceux tels que les oxydes de fer, se fait de façon très régulière et chacun des horizons reste relativement homogène; dans d'autres, se produit en profondeur un concrétionnement plus ou moins poussé du fer.

Les premiers correspondent aux sols sableux des régions de Louga, Thies, Bambey, Diourbel, etc... Les plus typiques sont les sols Dior étudiés précédemment par J. BOUYER (4) et que nous avons décrits dans une autre note (5). Nous en avons alors analysé le processus de dégrada-

tion sous l'influence du vent, et les différents stades d'érosion : sol gris, sols blancs, sols rouges.

Ces sols présentent généralement une réaction voisine de la neutralité ou faiblement acide; les horizons supérieurs ont un pH souvent plus élevé que ceux situés plus profondément.

Leur teneur en argile est faible et souvent inférieure à 10 %; en général, elle n'est que peu plus élevée en profondeur qu'en surface, sauf dans les sols attaqués par l'érosion et dont les éléments fins, dans l'horizon supérieur, ont été entraînés.

Les processus de lessivage ne portent donc dans ce type de sol que sur les éléments ferrugineux.

Chimiquement, les sols Dior sont des sols pauvres (6); surtout les sols dégradés d'où la matière organique tend à disparaître.

Une variété de sols proche des précédents correspond aux sols ocres du Sine, où la dessiccation des oxydes de fer est moins poussée. Ils sont d'ailleurs intermédiaires avec la série des sols beiges à taches ferrugineuses où le fer accumulé en profondeur se concrétionne.

Comme les précédents, ces sols beiges à taches ferrugineuses sont pauvres en matières organiques; par contre, ils en diffèrent essentiellement par une migration beaucoup plus intense des éléments en profondeur, et qui ne porte plus seulement sur le fer, mais aussi sur l'argile. Le rapport de lessivage peut descendre alors à 1/2. Cependant, ces sols limoneux ou sablo-limoneux, non calcaires, maintiennent leur réaction très proche de la neutralité, surtout dans les horizons superficiels : leur complexe absorbant n'est pas lessivé en cations; sa teneur en calcium, en magnésium ou potassium échangeable est aussi forte et souvent même plus élevée en surface qu'en profondeur.

Ces sols supportent en général une savane arborée à bois armé à *Cordyla*, *Bombax*, *Sterculia*, *Combretum*, *Bambusa*, *Bauhinia*, etc..., ou même une savane forestière. Ils s'étendent surtout dans les régions du Sine-Saloum et du Niombato, et atteignent à peu près le parallèle 13°.

Le profil d'un de ces sols, observé à Netté près de Birkelane (Cercle du Sine-Saloum), comporte les horizons suivants :

de 0 à — 4 cm, horizon très sableux, mais assez agrégé; gris beige, de teinte à peu près uniforme;

de — 4 à 30 cm, horizon sableux, de texture très voisine de celle du précédent, mais un peu durci, beige clair;

de — 30 à — 80 cm, horizon plus limoneux, plus compact, plus cimenté, beige foncé;

de — 80 jusque vers — 120, horizon beige-jaunâtre, plus argileux et présentant des traînées et taches ferrugineuses, ocre rouge, plus ou moins durcies.

Il passe graduellement à un sable beige clair.

Sols salés. — Parmi les sols évolués à profil non complexe, un certain nombre de ceux du Sénégal appartiennent à la série des sols salés. Ils ont été assez peu étudiés jusqu'à présent, mais l'un de nous (R. M.) a entrepris de combler cette lacune.

On peut observer des sols de la sous-série des sols salins, à efflorescences blanches en surface, mais plus souvent ceux de la sous-série des sols à alcalis.

Ces derniers, abondants dans la zone de Saint-Louis et Richard-Toll et, plus au Sud, dans celle de Fatick à l'embouchure du Saloum (sols des « tannes ») présentent un horizon superficiel peu épais, très poudreux en saison sèche, quasi-fluide par temps humide, puis vers — 5 ou — 6 cm, un horizon de cristaux de sels et, plus profondément, un horizon compact à nodules salins.

Près de Fatick ont été observés quelques sols à salant noir à carbonate de soude. Ils ne forment que des tâches, peu étendues, et assez rares.

Nous n'avons nulle part au Sénégal observé des sols lessivés à alcalis (solonetz), même dans les zones inondées pendant une partie de l'année. Un type particulier de sols, voisins des sols salés est le sol de poto-poto. Le poto-poto, *sensu stricto*, est abondant dans la région de l'ouest de Kaolack et surtout plus au sud au long de la basse vallée de la Casamance et du littoral du Cercle du même nom.

Sols à profils complexes. — Ce type de sols correspondant à plusieurs cycles de pédogénèse, recouvre toute la surface des grès argileux du miopliocène dans le centre et l'est du Sénégal.

Un premier type est constitué par les sols gravillonnaires sur cuirasse. Leur évolution peut se résumer ainsi : sur les grès ferrugineux, et plus ou moins argileux, s'est formée une cuirasse très dure, à caractère nettement latéritique (montagne de Thiès) ou très peu alumineuse et essentiellement ferrugineuse (Sinthiou-Malème, à l'ouest de Tambacounda). Celle-ci, en général assez attaquée par l'érosion — d'où, localement, de nombreux exemples de remaniement et de transports de faible amplitude —, a été recouverte par des sables d'épaisseur très variable, mais dont le façonnement paraît avoir été bien plus fluvial qu'éolien ; aussi cet horizon sableux superficiel, surtout lorsqu'il n'a que quelques centimètres, ou au plus 30 à 50 cm, d'épaisseur est-il très mêlé de gravillons de cuirasse. Il présente souvent en surface un horizon gris, puis, au contact de la cuirasse, un horizon rouge, plus compact et dont le fer provient de la remise en mouvement des éléments de la cuirasse, jouant alors le rôle d'une roche sous-jacente à un sol.

En de trop nombreux points actuellement, sous l'influence du feu, la végétation — essentiellement une savane forestière — a disparu laissant le champ libre à l'érosion par les eaux. Le recouvrement sableux

enlevé, la cuirasse apparaît en surface, formant des Bowé stériles. Aussi la protection de la végétation est-elle, sur ces sols, une nécessité absolue. Leur utilisation possible est ainsi très réduite. Tel est le cas de la plus grande partie du Ferlo et même de la région de Tambacounda.

Près de cette ville, le sol présente le profil suivant :

de 0 à — 15 cm : l'horizon sablo-graveleux, gris, un peu humifère;

de — 15 à — 30 cm, cuirasse peu résistante, formée de cailloutis durs et mal agrégés entre eux;

de — 30 à — 75 cm, cuirasse ferrugineuse très dure;

de — 75 à — 105 cm, cuirasse beaucoup moins dure, assez facilement morcelable;

de — 105 à — 165 cm, horizon sablo-limoneux, compact, présentant de nombreuses concrétions ferrugineuses;

au-dessous de — 165 cm et jusqu'à plus de 3 m 50 de profondeur, le concrétionnement et le durcissement des éléments ferrugineux diminue graduellement; du sol l'on passe à la roche mère, le grès argileux, à taches rouges.

Un autre type de sols à profil complexe prend naissance lorsque le profil précédent est décapé par l'érosion jusqu'aux horizons sous-jacents à la cuirasse. Il est dû alors à la transformation sous l'action du climat actuel des horizons inférieurs du sol à cuirasse. Aussi les cailloutis de surface et les concrétions et taches ferrugineuses de profondeur ne doivent-ils pas être considérés, sauf, parfois, certaines de ces dernières, comme caractéristiques de la pédogenèse actuelle.

Ainsi, au nord-ouest de Goudiry, les horizons qui se succèdent se présentent-ils :

de 0 à — 25 cm, horizon gris, humifère, limono-sableux, comportant quelques cailloutis ferrugineux, arrondis;

de — 25 à 40 cm, horizon de passage, plus limoneux et un peu plus compact;

de — 40 à — 70 cm, horizon beige, plus compact à taches ferrugineuses durcies.

en dessous de 70 cm, grès tendre, limoneux, d'un beige très clair.

D'après tout ce qui précède, ces différents sols à cuirasse du Sénégal n'apparaissent pas comme voisins des latéritoïdes (7).

Sols peu évolués. — Nous ne ferons que les signaler brièvement.

Les sols squelettiques peuvent être caillouteux, très grossiers, à base de quartzites, comme au sud de Bakel ou de blocs de cuirasse ferrugineuse, comme au sud de Matam où celle-ci apparaît au sommet des collines qui bordent la vallée du Sénégal et que l'érosion a attaquées et plus ou moins décapées. Ailleurs, ils sont sableux, comme dans le nord-ouest du pays.

La série des sols alluviaux a plus d'importance.

Les sols éoliens de dunes s'étendent au long du littoral de Dakar au delà de Saint-Louis.

Les sols fluviaux sont en général très limoneux (vallée du Sénégal entre Matam et Dagana) mais ils peuvent être ailleurs assez argileux. Ils présentent souvent, vers 80 à 90 cm de profondeur, un horizon de gley (Richard Toll).

Les sols colluviaux sont très abondants dans les vallées actuellement sèches et ensablées du Sine, du Saloum, du Ferlo, etc... Sauf par taches où ils sont plus argileux, ils sont, dans le plus grand nombre des cas, limoneux ou limono-sableux.

Les sols humifères sont soit les sols de marigots, souvent argileux, soit les sols des Niayes, riches en matières organiques, peu humifiées et assez acides.

Dans tous ces sols, même les plus évolués, aucune trace de latéritisation actuelle ne s'observe. Seulement, plus au sud et au sud-est, ce phénomène se poursuit-il encore de nos jours.

TABLEAU 2.

Sols non lessivés ou peu lessivés.

TYPE DE SOL	EMPLACEMENT	PROFONDEUR cm	N°	AR-GILE p. cent	LI-MON p. cent	SABLE fin p. cent	SABLE gros p. cent	MAT. org. p. cent	pH	CALCAIRE	CHAUX échantillonnable m. eq 100gr	F ² O ³ libre p. cent
Sol gris subdésertique.	Tiguent (Mauritanie).	S. 951	0 à 10								4,7	0,2
		952	50								3,8	0,2
		953	170								3,2	0,3
Sol châtain subaride.	Diohème Gabriel.	D G 1	0 à 15	4					7,2		6,1	1,7
		2	40	6					7,4		5,3	1,9
		3	80	6					7		4,5	1,7
		4	100	6					7,1		5	2,2
Sol châtain subaride.	Gassane.	5	125	6,5					7		5,3	2,8
		S. 621	0 à 10	9,5					7,6		11,9	
		622	20	11					6,8		13,6	
		623	50	14,5					7,8		10,3	
		624	75	14					7,3		14,8	
Sol brun subaride.	Mérina-ghem.	625	125	9					8		—	
		S. 571	0 à 10								9,2	2,5
		572	50								10,2	2
		573	70								11,5	2,4
Sol noir sur calcaire.	Bargny.	574	190								11,4	1,6
		S' 51		28,5	7,85	43,3	11,3	5	8,3	4,1		
		52		22,7	5,1	50,6	10,5	2,7	8,3	8,4		
		53		36,3	7,3	5,9	4,8	0,9	8,3	44,8		

TABLEAU 3.

Sols lessivés (1).

TYPE DE SOL	EMPLACEMENT	N°	PROFONDEUR cm.	AR-GILE p. cent	LI-MON p. cent	SABLE fin p. cent	SABLE gros- sier p. cent	HUMUS p. mille	pH
Dior (sol gris).	Thiamène (Cercle Louga)	SA 111	0 à 20	9,5	0,5	45,1	44,9	1,5	6,7
		112	50	9,75	1,1	50,35	38,8	1,1	6,3
		113	90	7,3	4,1	44,7	43,9	1	6,8
		114	210	7,5	1,15	48,55	42,8	0,8	6,5
Dior dégradé (sol blanc).	Touba (Cercle Diourbel)	SA 341	0 à 5	7,55	1,1	47,2	44,15	2,5	6,7
		342	5 à 20	10,25	1,5	45,95	42,3	2,3	7
		343	65	11	2,9	46	40,1	1,8	6,5
		344	135	9,8	1,2	44,2	44,8	1,3	6,2
		345	180	9,6	1,9	40,1	48,4	1,2	6,3
Dior très dégradé (sol rouge).	Sine (Cercle Thiès)	SA 281	0 à 7	6,9	0,9	14,1	78,1	2,5	6,7
		282	7 à 25	7	1,4	21,5	70,1	2,3	6,3
		283	55	8	0,9	22,8	68,3	1,6	6,5
		284	130	7,3	0,7	22,7	69,3	1,7	7,3
Sol beige à taches ferrugineuses	Netté (Cercle Koolack)	SA 551	0 à 4	7,7	3,4	45,7	43,2	2,2	7
		552	20	9,2	2,3	44,9	43,6	2,5	6,7
		553	50	12,9	9	38,2	39,9	1,2	6,2
		554	100	14,9	2,6	42,9	39,6	1,2	6,3

(1) Analyses effectuées au laboratoire de la Station expérimentale de l'arachide à Bambey (secteur soudanais de Recherches agronomiques) avec la collaboration de Mara MAMADOU.

TABLEAU 4.

Sols à gravillons ferrugineux sur cuirasse à Sinthiou-Malenne.

(en pour cent de l'échantillon séché à l'air).

	Gravillon ferrugineux	Cuirasse
Quartz	11,2	13,6
Si O ² combinée.	10,1	9,8
Al ² O ³	13,8	17,23
Fe ² O ³ + TiO ²	54,8	49,35
CaO	0,84	0,56
MgO	0,1	0,21
Na ² O	0,23	0,3
K ² O	tr.	tr.
H ² O+	7	7,8
H ² O-	2,6	1,2

Bibliographie sommaire.

1. WELTER (L.). — Memento du Service Météorologique. Haut Commissariat de l'A. O. F. Rufisque, 1941.
2. TROCHAIN (J.). — Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Thèse, Paris, 1940.
— Mémoire de l'Institut français d'Afrique Noire, n° 2. Paris, Larose, 1941.
3. Service Géologique du Gouvernement général de l'A. O. F. Carte géologique de reconnaissance au 1/1.000.000^e : feuille Dakar ouest et Dakar est. Dakar, Grande Imprimerie Africaine, 1943.
4. BOUYER (J.). — Étude des sols de la région de Bambey. Rapport de fonctionnement. Station expérimentale de l'arachide. Bambey, 1942.
5. AUBERT (G.), DUBOIS (J.) et MAIGNIEN (R.). — L'érosion éolienne dans le nord du Sénégal. Ces mêmes C. R.
6. CHEVALIER (Aug.). — Monographie de l'arachide. *R. B. A. et A. T.*, de 13^e année, nos 146-147, oct.-nov. 1933 à 16^e année, n° 181-182, sept.-oct. 1936.
7. BESAIRIE (H.). — Notes de pédologie tropicale. Service des Mines A. O. F. 1945 (non publié).
8. SHANTZ (H.-L.) et MARBUT (C.-F.). — The vegetation and soils of Africa. *Ann. Geog. Soc. Res. Sc.*, n° 13.

PÉDOLOGIE DES TERRES ASTIENNES, AUX ENVIRONS D'ALGER, ET DES SOLS ROUGES QUI EN DÉRIVENT

Par Charles KILLIAN.

Professeur à la Faculté des Sciences (Alger).

La partie introductive de ce travail comporte l'étude des relations génétiques entre les sols considérés : la mollasse calcaire ou le grès calcaire, du pliocène supérieur, en se transformant en sable ou en argile rouge (*terra rossa*) subissent des changements profonds de leurs caractères chimiques et de leurs caractères physiques, mais surtout de leurs qualités biologiques.

Cette métamorphose retentit nettement sur la composition de leur couverture végétale : qu'il s'agisse de plantes spontanées ou d'espèces cultivées, il s'exerce une sorte de sélection de la plante par le sol qui dépend beaucoup plus des caractères physiques, chez ces derniers, que ses qualités chimiques.

Les renseignements les plus précis sur les aptitudes biologiques de nos sols ont pu être obtenus par l'utilisation des méthodes microbiologiques.

En stimulant l'activité des micro-organismes par l'incorporation soit d'eau, soit de détritits végétal, on peut obtenir des réactions fondamentalement différentes qui se répercutent sur certaines manifestations de leur katabolisme microbien, tel la cellulolyse et aussi la mannitolyse, et surtout sur les phénomènes d'anabolisme, tels la fixation d'azote et la nitrification. La mesure de leur intensité respiratoire aboutit à des résultats analogues.

Prenons comme exemple la cellulolyse du sable rouge : elle est supérieure à celle de la mollasse calcaire et bien inférieure à celle de l'argile rouge et surtout du grès calcaire.

L'incorporation de doses croissantes d'eau nous permet, ensuite, de situer les optima tant pour la cellulolyse que pour les autres phénomènes microbiens.

Les résultats les plus intéressants ont été obtenus au sujet de l'action stimulante du détritits végétal.

Son rôle ressort déjà des observations que l'on peut faire dans les conditions naturelles.

L'analyse des constituantes humiques d'une terre mollassique donnera ainsi des résultats très différents de ceux d'une argile rouge; les différences les plus importantes se manifestent pour le taux de la lignine.

Ces renseignements sont complétés par des comptages des nombres microbiens.

Mais c'est l'activité microbienne de nos sols humifères qui nous a fourni des renseignements bien plus suggestifs. Elle dépend d'une part de la constitution spécifique de l'humus, d'autre part de la nature particulière du sol lui servant de substratum.

L'influence du détritux végétal sur l'activité microbienne a été mesurée, ensuite, dans les conditions constantes du Laboratoire en prenant comme critérium l'intensité de la cellulolyse.

Il a pu être prouvé que son optimum se situe très différemment suivant la nature des sols et suivant le pourcentage d'humus qu'on lui a incorporé.

L'intensité respiratoire, mesurée *in vitro*, permet également d'apprécier le rôle stimulant de l'humus. Elle diffère suivant la nature des sols et suivant les quantités et les qualités d'humus utilisées.

Les dosages du CO_2 ont été repris dans les conditions variables de la nature. Il en résulte que le CO_2 est dégagé principalement par les micro-organismes des couches de surface.

Répétées en saison sèche, ces mesures ont fourni d'autres renseignements, au point de vue écologique. Il a pu être démontré que si un sol rouge, sans couverture, respire beaucoup moins en été qu'en hiver, la présence d'une litière de *Quercus coccifera* peut maintenir son activité respiratoire à un niveau élevé, même en pleine période de sécheresse.

Le maximum respiratoire a été mesuré pour le cas d'un sol rouge, mélangé de détritux mollassique, déposé au fond d'un ravin et couvert d'une épaisse litière. Sa richesse en lignine, son important pouvoir retenteur pour l'eau, en été, rehaussé par l'imperméabilité du substratum, peuvent nous l'expliquer.

Le minimum, au contraire, est réalisé chez les sols mollassiques ou l'addition d'humus ne stimule pas beaucoup l'activité microbienne, ni en hiver, ni en été.

De l'ensemble de ces observations il résulte que toutes les réactions microbiennes sont sous la dépendance étroite des conditions climatiques locales, parmi lesquelles la sécheresse de l'été représente le facteur limitatif par excellence.

Mais les conditions édaphiques agissent dans le même sens; j'ai insisté, spécialement pour le cas de la mollasse, sur l'action stimulante du calcaire; pour l'argile rouge sur le rôle de l'imperméabilité et pour le cas du sable rouge sur son faible pouvoir retenteur de l'eau.

Ces conclusions confirment entièrement, tout en les complétant, les anciennes observations de l'auteur sur la microbiologie des sols des Hauts Plateaux, du Sahara et des régions dunaires du littoral.

SUR L'AGE DES SOLS ROUGES NORD-AFRICAINS

Par G. GAUCHER,

(en service détaché à l'École Nationale d'Agriculture d'Algérie).

Nous avons eu à plusieurs reprises, dans le Midi de la France et ici même, l'occasion d'examiner des sols rouges et de discuter à propos de leur origine.

Je voudrais relater quelques remarques sur l'âge de ces formations, remarques inspirées par des observations d'ordre géologique que j'ai pu faire depuis plusieurs années sur les sols rouges de la vallée du Chélif et notamment sur leur place dans la chronologie du Quaternaire.

1. Dans la vallée du Chélif et dans les Basses Plaines oranaises, on observe une succession de plusieurs niveaux quaternaires bien distincts :

— un niveau supérieur de galets consolidés en poudingues, représenté par divers affleurements témoins et qui n'a guère donné de sols au sens agrologique ou pédologique du terme;

— un niveau d'alluvions rubéfiées qui constituent les sols rouges; niveau continu en bordure des vallées principales et sur le pourtour des Basses Plaines oranaises. Ce sont les « alluvions anciennes » des géologues;

— un niveau plus récent, de couleur grisâtre en général et comportant d'ailleurs plusieurs formations de nature différente. Ce sont les « alluvions récentes » des géologues.

Dans ce dernier niveau, les cours d'eau principaux ont établi leur lit actuel et ont édifié par endroits un quatrième niveau dit « la basse terrasse ».

2. Dans cette succession, c'est le deuxième niveau, celui des alluvions rubéfiées, qui nous intéresse.

On remarque d'abord, quand on étudie la morphologie de ces formations, que leur dépôt s'est effectué entre deux phases d'érosion. La dernière d'entre elles a modelé une sorte de ressaut qui marque la limite entre les alluvions rubéfiées et les alluvions grises du niveau suivant, ces dernières étant d'ailleurs *transgressives* sur le niveau rubéfié.

Or, des indices très sérieux incitent à croire que la formation des sols rouges prit fin avec cette phase d'érosion qui représente vraisemblablement l'action du *Pluvial Würmien*. *Pluvial* car il est admis qu'en Afrique du Nord les glaciations furent remplacées par des périodes pluviales.

Ainsi une relation de cause à effet existerait entre la formation des

sols rouges et les conditions climatiques particulières contemporaines des mers à Strombes et des faunes à Elephas Antiquus (dont la forme nord-africaine fut l'*Elephas Atlanticus*). Les phénomènes d'altération des roches comportèrent une rubéfaction des éléments transformés. Les faits géologiques, archéologiques et morphologiques tendraient à montrer que les processus de rubéfaction s'arrêtèrent quand les conditions climatiques changèrent, c'est-à-dire au Pluvial Würmien.

Ce climat semble avoir été assez analogue au climat soudanais actuel : humide et chaud et à saisons alternantes.

3. Quels sont les indices ou les faits qui permettent d'aboutir à cette conclusion?

— La succession d'un niveau grisâtre à un niveau rubéfié implique déjà que les conditions de pédogénèse et de lithogénèse, en particulier le climat, s'étaient modifiées. Cette idée se précise si l'on étudie ce niveau d'alluvions grises, on y retrouve des couches d'alluvions rubéfiées à la base ou à proximité du ressaut qui limite les deux niveaux. Et les conditions de gisement sont telles qu'elles indiquent une *reprise* de ces alluvions au niveau précédent et qu'elles excluent l'idée d'une rubéfaction s'exerçant au cours du dépôt.

Cette observation n'est pas concluante, elle constitue pourtant une importante présomption.

Par contre, les constatations faites par M. ARAMBOURG sont beaucoup plus édifiantes.

M. ARAMBOURG a étudié la faune et les industries de très nombreuses stations d'Algérie et du Maroc, en particulier des grottes littorales. Dans un de ses ouvrages : *Les Grottes paléolithiques des Beni Seghoual* (1), M. ARAMBOURG fait une sorte de synthèse de ses observations. Il établit que les industries et les faunes du Paléolithique moyen se trouvent *toujours* dans des dépôts rubéfiés, tandis que les industries et les faunes plus récentes du Paléolithique supérieur sont mêlées à des dépôts argileux ou sablonneux, non rubéfiés, jaunâtres ou grisâtres. Et M. ARAMBOURG est affirmatif, voici ce qu'il écrit : « Une grande partie — pour ne pas dire l'ensemble — des formations éluviennes rouges d'âge quaternaire, si fréquentes en Afrique du Nord, se sont formées à une époque qui correspond au Paléolithique moyen. »

D'ailleurs, dans la région d'Aïn Taya — que nous avons parcourue hier — j'avais trouvé moi-même, il y a une quinzaine d'années, en surface sur ces sols rouges, plusieurs stations que M. ARAMBOURG avaient déterminées comme moustériennes (2).

(1) C. ARAMBOURG, M. BOULE, H. VALLOIS, R. VERNEAU, *Les Grottes paléolithiques des Beni Seghoual* (Algérie). (Archives de l'Institut de Paléontologie humaine, 1934).

(2) G. GAUCHER, « Note sur l'existence de stations paléolithiques aux environs de Cap-Matifou, d'Aïn Taya et de l'Alma-marine. » (*Bull. de la Soc. Hist. Nat. de l'Afrique du Nord*, T. XXIII, 1932).

Il faut ajouter aussi que les formations rubéfiées un peu analogues du littoral atlantique du Maroc, formations appelées « limons rouges sub-aériens » contiennent une industrie micocquienne, c'est-à-dire anté-würmienne, ou à la rigueur contemporaine du Würmien.

4. Le mode de formation de ces dépôts appelle quelques observations.

M. ARAMBOURG attribue leur rubéfaction... « à la double action du brassage, au contact de l'air et du climat tropical... »

Je ne crois pas qu'il soit nécessaire de faire intervenir le brassage. En effet, dans la vallée du Chélif, en amont du niveau d'alluvions rubéfiées, on trouve, dans certaines situations privilégiées, des *sols rouges autochtones*.

D'autre part, M. ARAMBOURG tendrait à penser que ces formations se sont surtout produites pendant la période de ruissellement du Pluvial Würmien. Il semble au contraire que la période de dépôt fut beaucoup plus longue et correspondit à tout le cycle Tyrrhénien sensu lato (Tyrrhénien + Monastirien de Dépéret). En effet, des sondages effectués dans les régions de Perrégaux et d'Inkermann révèlent une épaisseur considérable d'alluvions rubéfiées : près de 100 mètres à Inkermann, plus de 50 mètres à Perrégaux. L'examen de ces alluvions montre d'ailleurs que leur origine sédimentaire est assez variée : ce sont des dépôts de pente, des limons fluviaux, des dépôts de cônes de déjection d'oueds, peut-être parfois des dépôts lacustres, enfin on trouve également, je le répète, des sols rouges autochtones.

En somme, leur rubéfaction ne paraît liée ni à des phénomènes de brassage, ni à des phénomènes d'altération se produisant exclusivement dans les fissures profondes des roches calcaires. Tout porte à croire, au contraire, que la pédogénèse s'est produite normalement, en surface et à l'air libre, et que, normalement aussi, la pédogénèse a précédé les phénomènes de lithogénèse comportant l'érosion et la sédimentation.

Ainsi, la rubéfaction fut contemporaine de la pédogénèse et il s'affirme bien qu'elle fut la conséquence du climat de cette époque. Le climat du Tyrrhénien fut donc un *climat rubéfiant* comme l'avait été celui de divers étages, le Trias, l'Oligocène continental, le Pontien par exemple. Je dois signaler à ce titre que j'ai rencontré au Maroc des argiles rouges, quaternaires ayant les mêmes caractères pétrographiques que les argiles triasiques sans que l'on puisse parler d'une reprise de ces dernières.

5. Il est enfin une dernière question : ces sols sont-ils fossiles? Se produit-il encore des sols rouges sous notre climat et dans notre région?

C'est peu probable ou, plus précisément, ces phénomènes de rubéfaction sont loin d'avoir l'extension qu'ils connurent au Tyrrhénien. Nous avons vu le sol que M. BORDAS nous a présenté dans la région d'Arles sur les ruines d'une minoterie romaine : c'est une rendzine et

elle n'offre aucune trace de rubéfaction. Le sol développé sur les déblais de la carrière romaine d'Aïn Taya, que M. ROSEAU nous a fait visiter hier, est lui aussi coloré en noir.

Par contre, j'ai observé dans la région de l'Alma-marine des phénomènes actuels de décomposition portant sur des galets de granodiorite qui proviennent du massif de Ménerville. Ces phénomènes paraissent bien être accompagnés d'une rubéfaction où le mica phlogopite semble d'ailleurs jouer un rôle important. Mais ces cas d'une formation actuelle de sols rouges sont à ma connaissance assez limités.

Dans l'ensemble, les formations pédologiques méditerranéennes rubéfiées seraient donc *fossiles* ; elles sont les témoins du climat rubéfiant du Tyrrhénien. Cette conclusion ne s'applique évidemment pas aux sols lithochromes tels que ceux qui existent sur les argiles rouges triasiques par exemple.

En somme, l'*extension généralisée de la rubéfaction à tout un ensemble de formations* constitue le fait essentiel d'un certain climat, lui-même caractéristique d'une période géologique. Mais cela n'exclut pas que l'on puisse observer encore maintenant des phénomènes de rubéfaction dans les cas où des conditions assez particulières reproduisent un milieu un peu analogue à ce qu'il était au Tyrrhénien. Et c'est précisément l'art du pédologue, et aussi du géologue du Quaternaire, de distinguer le phénomène généralisé caractéristique d'une époque géologique, et certaines récurrences localisées du même processus, indices seulement des conditions spéciales d'un milieu.

LES ÉTAPES DE LA PÉDOLOGIE MAROCAINE

Par Georges GRILLOT.

Directeur du Centre de Recherches Agronomiques (Rabat).

Bien que l'établissement du Protectorat de la République française au Maroc, en 1912, et la pacification consécutive du pays soient encore relativement très récents et, qu'en outre, l'activité générale ait été longuement et gravement troublée par les deux guerres mondiales 1914-1918 et 1939-1945, ainsi que par la crise qui sévit de 1930 jusqu'à la dernière guerre, le Maroc a connu néanmoins un essor remarquable auquel toutes les activités, toutes les disciplines scientifiques ont concouru.

En ce qui concerne l'étude des sols du Maroc, on peut distinguer quatre étapes, ou plutôt quatre époques :

I. — Avant le Protectorat, puis de 1912 à 1936, il n'y a pas à proprement parler de pédologie marocaine. Pourtant depuis 1914 de très nombreuses analyses de terres sont effectuées pour les agriculteurs au Laboratoire officiel de Chimie agricole et industrielle de Casablanca, sous la direction de M. GAUVRY jusqu'en 1926, puis de M. CHAUVEAU, et M. VALIN, chimiste de cet Établissement, fait connaître, à partir de 1934, avec une première carte à l'appui, la répartition des sols marocains d'après leur constitution physique. Mais c'est tout de même l'époque « préhistorique » au cours de laquelle ce sont uniquement des chercheurs venus de France ou de l'étranger qui se livrent à des études pédologiques concernant les sols du Maroc, en particulier M. RIGOTARD, MM. les professeurs GENTIL et BURCART et M^{lle} MALYCHEFF.

II. — De 1936 à 1940, et cependant que le Laboratoire officiel de Casablanca poursuit ses études et analyses et en tire des conclusions, les colons et les chercheurs du Maroc prennent conscience de l'intérêt de la science du sol, sous l'impulsion de MM. CARLES et MIÈGE qui provoquent la venue en mission de MM. les professeurs OUDIN et DEL VILLAR pour initier chercheurs et agriculteurs du Maroc aux principes et aux méthodes de la pédologie moderne.

C'est de ce moment également que datent les premiers travaux en la matière effectués par le directeur du Centre de Recherches agronomiques de Rabat : M. MIÈGE et ses collaborateurs MM. BRODSKIS et

BRYSSINE, en particulier la première étude sur les sols du Tadla, publiée par l'A. M. E. S. en 1941, cependant que M. DEL VILLAR établit la carte des sols du RHARB pour la Chambre d'Agriculture de Rabat.

Cet essor se concrétise alors par la création de l'A. M. E. S. (Association marocaine pour l'Étude des Sols, dissoute en 1946) et en 1939 par celle du Laboratoire d'Études des Sols du Centre de Recherches agronomiques de Rabat.

III. — Hélas, à cette phase de croissance rapide, la guerre, avec ses conséquences, met un frein brutal, un terme prématuré et, de 1940 à 1945, c'est une période d'attente, mais cependant de lutte héroïque contre la paralysie croissante due à la pénurie de personnel, de matériel et de produits de laboratoire, ainsi que de moyens de transport.

Au Centre de Recherches agronomiques, que j'ai l'honneur de diriger depuis 1941, M. BRYSSINE, chef du Laboratoire d'Étude des Sols, parvient à continuer son étude expérimentale sur l'irrigation du sol des Beni-Amir qui ne put être publiée qu'en 1945, à entamer, dès 1942, l'étude des sols du futur périmètre irrigable des Doukkala, et à effectuer pour M. DEL VILLAR les analyses utiles à la nouvelle étude des sols de Sidi-Slimane qui lui fut demandée en 1942.

Par ailleurs, M. VALIN, du Laboratoire officiel de Chimie de Casablanca dirigé par M. VASSEUR, complète en 1944 sur la carte du Maroc l'indication des diverses natures de terres qu'il a pu reconnaître par ses analyses.

IV. — Puis, dès le début de l'année 1945, avant même la fin des hostilités, surgit une phase nouvelle. Une véritable fièvre de réalisation secoue le Maroc tout entier; la mise en valeur du pays, la création projetée de nombreux et importants périmètres irrigables, l'accroissement nécessaire de la production agricole, la modernisation du paysanat marocain, tout cela demande, qu'avant tout, les sols à mettre en valeur, à mieux exploiter, à irriguer, soient préalablement reconnus, étudiés et appréciés. Un effort inouï est ainsi demandé au Centre de Recherches Agronomiques de Rabat. Avec des moyens beaucoup trop réduits, mais grâce à la foi qui anime son personnel, la Section d'Étude des Sols de ce Centre, soutenue par toutes les autres sections de l'Établissement, notamment par celle de chimie agricole, et sans abandonner ses recherches de pédologie appliquée, réalise de toute urgence, en liaison avec les inspecteurs régionaux et locaux de l'Agriculture, une tâche exténuante concernant l'étude des sols des périmètres irrigables : Triffa, au Maroc oriental; Beni Amir, Beni Moussa, Beni Mellal, Doukkala, El Kelaa des Srarna dans le Maroc occidental, Oued Massa au sud du Sous.

Plus de 500.000 hectares sont ainsi prospectés.

Les rapports, encore inédits à l'exception de celui des Triffa, ont été remis à tous les services intéressés. Les cartes au 1/100.000^e ou au 1/200.000^e ont été établies par M. BRYSSINE, puis reprises sous sa direction au Maroc oriental par M. FOUASSIER, inspecteur de l'Agriculture, aux Beni Amir par M. TOUJAN, ingénieur agronome au G. E. T. I. M. (Groupement d'Étude des Travaux d'Irrigation au Maroc), pour l'établissement des cartes à grande échelle. Il est particulièrement plaisant de noter cette efficiente collaboration entre le Service de la Recherche Agronomique, qui dépend de la Division de la production agricole dirigée par M. GILLOT, le Service de la Mise en valeur qui apporte son aide financière, les chefs des services agricoles régionaux et les chefs d'arrondissement agricole, la direction des Travaux publics et les techniciens des grandes firmes chargées, en certains périmètres, de l'établissement des réseaux d'irrigation.

Par ailleurs, M. DEL VILLAR poursuit à l'Institut scientifique chérifien la mise au point de son étude sur les sols de l'Afrique du Nord et M. GAUCHER, chef du bureau scientifique du Paysanat, après avoir étudié de son côté la plaine des Triffas, avec le concours du Laboratoire du Centre de Recherches agronomiques de Rabat qui analysa ses échantillons, a une tâche importante à remplir qui comporte notamment l'étude des terrains des divers secteurs de modernisation.

Il ne faut pas oublier non plus les travaux et analyses poursuivis sans interruption par M. CABY, successeur de M. VALIN, au Laboratoire officiel de Chimie de Casablanca.

Enfin le Centre national de la Recherche scientifique a bien voulu détacher, depuis fin 1946, au Centre de Recherches Agronomiques de Rabat, M. le professeur CAVALLAR qui a pour mission, avec les moyens du Centre de Rabat, d'établir systématiquement la carte pédologique du Maroc au 1/200.000^e.

C'est donc une grande époque d'activité et de réalisations qui a commencé en 1945 pour la pédologie marocaine et qui, peu à peu, à travers les heurts et les difficultés de l'époque, voit naître et grandir une véritable équipe de chercheurs consciencieux et ardents.

LES ÉTUDES PÉDOLOGIQUES AU MAROC

Em. MIÈGE.

Ancien chef du Service d'expérimentation agricole du Maroc (Rabat).

Historique sommaire.

La Pédologie est, comme on le sait, une science relativement récente, tout au moins pour les pays occidentaux et nord-africains. En ce qui regarde le Maroc, son application véritable ne date guère que d'une quinzaine d'années et, surtout, depuis les travaux qui y ont été entrepris, dès 1934, par le professeur HUGUET DEL VILLAR.

Cependant, on ne s'était pas, auparavant, désintéressé de l'étude des sols, mais on l'avait effectuée avec les méthodes de la géologie appliquée et de l'agrorologie. Avant même l'instauration du Protectorat, un certain nombre de savants, métropolitains et étrangers, avaient entrepris des recherches sur l'origine, la formation, la nature et la répartition des terrains du Maghreb.

A partir de l'installation française et, principalement, après celle du Laboratoire officiel de chimie et de son compartiment des sols, l'examen analytique des terres fut intensifié, en particulier pour servir de guide à la colonisation naissante.

Puis, sous l'influence des idées nouvelles, un certain nombre d'agronomes s'intéressèrent à la pédologie et commencèrent à appliquer ses méthodes.

Devant l'intérêt que suscitaient ces travaux, M. BOUDY, Inspecteur Général des Eaux et Forêts, président de la Société des Sciences naturelles du Maroc, et moi-même, tentâmes de constituer, en 1937, une « Association marocaine pour l'étude des sols » (A. M. E. S.), qui connût un succès rapide et groupait, avant la guerre, plus de 150 membres : géologues, ingénieurs, chimistes, microbiologistes, docteurs, agronomes, agriculteurs, etc... Ce groupement complétait le « Comité des Eaux souterraines », formé antérieurement.

Nous ne pourrions donner ici qu'un résumé très bref — et malheureusement incomplet sans doute — des études entreprises au Maroc, particulièrement sous l'égide de l'A. M. E. S.

Sans remonter trop loin dans le temps, nous devons signaler les travaux de FISCHER et de BRIVES, qui datent d'une quarantaine d'années. Ce dernier fut l'un des premiers à s'occuper de la question des

terres noires, ou tirs qui, depuis, continua de retenir l'attention de nombreux savants et de faire l'objet de recherches et de discussions.

C'est ainsi que GENTIL lui consacra plusieurs publications, que LEMOINE, MOREAU, BREUIL, DANTIN, CEREDA, EMBERGER, nous même, etc... abordèrent les problèmes qu'elles soulèvent, et dont récemment, le professeur del VILLAR a vraisemblablement trouvé la solution.

Débordant ce point particulier, GENTIL avait montré que la nature géologique des terres fertiles du détroit sud riffain, que l'on rencontre depuis les confins algéro-marocains jusqu'à la côte Atlantique, pouvait être rapprochée de celle du Tell Algérien, qu'il s'agisse des sols formés par les argiles et les marnes helvétiques ou de ceux provenant du toronien, que la plaine des Beni-M'Tirs rappelle, à tous égards, celle de la Mekkara en Algérie, etc...

En 1917, Marcel et Laurent RIGOTARD entreprenaient les premières analyses physiques et chimiques des terres marocaines, qui furent ultérieurement poursuivies et considérablement multipliées par le Laboratoire officiel de Chimie de Casablanca, notamment par ses Directeurs successifs : MM. GAUVRY, CHAUVEAU, VASSEUR, et par MM. VALIN et GABY.

Le premier travail à caractère vraiment pédologique, au sens actuel, est celui qui a été consacré, en 1928, par EMBERGER et ZABORSKI, à la « transformation des grès de Rabat en sol climatique ».

Ces auteurs ont montré que l'eau chargée d'acide carbonique provoque la décalcification de la roche mère (grès calcaire), corrélatrice d'un enrichissement en silice et d'une décoagulation de l'argile, qui détermine ensuite l'agglutination des grains de silice insoluble et, de ce fait, la naissance du hamri, coloré par les sels de fer libérés et oxydés. Celui-ci, à son tour, est débarrassé peu à peu de son argile — entraînée en profondeur par les pluies — et transformé ainsi, progressivement, en sable plus ou moins rouge. Cette évolution s'effectuerait sous l'influence du climat actuel, qui continuerait de s'exercer sur les sables qui, dans la forêt (Mamora), seraient alors comparables aux podzols, grâce à l'abondance relative des précipitations dans cette région.

Ces conclusions sont confirmées par M^{lle} MALYCHEFF qui, examinant les relations qui existent entre les roches quaternaires calcaires et gréseuses de Rabat, les hamri qui reposent sur elles, et les terres brunes qui en dérivent, admet, comme les auteurs précédents, que les hamri représentent le produit d'évolution des calcaires gréseux et qu'ils se transforment, dans les conditions actuelles de climat et de végétation, en sol brun, dont elle donne les caractères chimiques. Toutefois, elle considère que l'altération des grès calcaires sous-jacents a eu lieu sous un climat différent de celui d'aujourd'hui et favorable à la latérisation.

Par ailleurs, BOURCART signale l'importance des études géochimiques

des sols dans les pays tropicaux et que, sans prétendre se substituer aux méthodes pédologiques, l'examen, au microscope polarisant, de petits échantillons de terres, est susceptible de fournir de précieux renseignements et de permettre d'établir des cartes d'exploration évitant de lourdes erreurs à la colonisation.

CARLE et TROCHAIN présentent et discutent la classification pédologique des sols établie par DEL VILLAR; ils en montrent la nouveauté, la logique et l'utilité.

Puis CARLE commence la série de ses publications sur les sols marocains, pendant que BOURCART présente une note sur le même sujet et que FRANC DE FERRIÈRE donne ses observations sur le pH des terres d'Afrique du Nord.

CARLE profite de sa participation au Congrès d'Erfoud, pour résumer celles qu'il a relevées au cours de son voyage dans les régions présahariennes.

La même année, le Congrès de l'A. F. A. S., qui avait lieu à Rabat (avril 1934), permettait à CHAUEAU d'apporter une « contribution à l'étude de la nature des sols marocains » et de présenter une première esquisse de la carte agrologique du Maroc qui, depuis, a été complétée et mise au point par VALIN.

Dans la première, CHAUEAU fait remarquer qu'elle présente trois zones parallèles : sur la côte atlantique, une bande de terres siliceuses (r'mels) et silico-calcaires (Narroucha), ainsi qu'une vallée alluvionnaire à sol argileux (doess du Sebou) puis, de Safi à Meknès-Fès, une bande de sols argileux (tirs) et, enfin, longeant le versant nord de l'Atlas, des terres argilo-calcaires, puis argileuses.

La même manifestation donnait à MERCIER l'occasion d'indiquer l'allure de « l'évolution des sols de la région de Casablanca et de signaler que les tirs et les pseudo-Hamri, hors de la zone dunaire, sont d'origine forestière, tandis que les sols de dunes semblent provenir de la brousse à *Chamærops*, *Asparagus*, *Withania*. Il considère que tous les sols de cette région peuvent être classés en cinq types principaux.

MIÈGE, dans le *Bulletin de l'Association internationale*, publie une « Contribution à l'étude pédologique des sols du Maroc », contenant la description et l'analyse complète de vingt et un profils prélevés dans la région de Sidi-Slimane. Elle révèle que toutes les terres de ce périmètre contiennent de 50 à 60 p. cent d'argile — ce taux diminuant toutefois avec la profondeur — et qu'elles peuvent être ramenées aux deux types = tirs et hamri. On constate fréquemment un lessivage plus ou moins intense des carbonates, et des différences assez profondes dans la fragmentation des éléments.

La détermination du complexe absorbant indique que toutes ces terres sont des sols saturés; leur teneur élevée en bases absorbées atteint

0,84 et même 1,32 (surtout ion Ca). Il semble que ces terres correspondent à deux stades d'évolution; au premier, l'argile rouge formée, sous un climat ancien, aux dépens du calcaire, a été enlevée et déposée au pied des collines environnantes; au second, les marnes grises ont recouvert la formation argileuse jaune que l'on trouve toujours sous elles.

Dans les conditions climatiques actuelles, ces deux formations ont donné respectivement les hamri-sol brun et les tirs, dont la différence consiste surtout dans celle du degré d'évolution de la roche mère et dans la topographie. La densité réelle et la densité apparente de ces terres sont très élevées (2,5 à 2,8 et 1,85 à 1,99). Le nombre des particules varie de 19 à 28 milliards par gramme. La majorité sont pauvres en matière organique, en chaux, en azote, et même en acide phosphorique, mais elles sont riches en potasse.

Le même auteur a étudié ensuite, avec BRYSSINE, quelques sols types de la région de Rabat, choisis d'après la nomenclature écologique et locale = r'mel, hamri, tirs, doess et merzag, dont les profils sont décrits et les divers horizons analysés comparativement (analyse mécanique, humus, complexe absorbant, etc.).

Poursuivant ses travaux, MIÈGE publie, en 1941, une « Première étude sur les sols du Tadla » (Beni Amir), ouvrage qui comprend trois parties.

L'ensemble des nombreuses analyses effectuées (texture, structure, complexe, pH sels solubles et éléments assimilables, rapports avec l'eau, etc...) montre que ces sols ont été formés aux dépens des alluvions quaternaires lacustres qui recouvrent le substratum cénomanien, turonien et danien du crétacé, et une partie de l'éocène, et sous les conditions d'un climat continental semi-aride, dont l'action a été accentuée par la destruction de la forêt xérophytique ancienne, et même de la végétation naturelle par une surcharge excessive des pâturages.

A l'influence des vents violents de cette région, qui ont déterminé une intense érosion, poussée parfois jusqu'au décapage des terres, s'est associée celle des eaux météoriques qui, malgré leur faible volume absolu (200 à 300 mm. annuel) et grâce à leur localisation hivernale, ont pu provoquer un lessivage partiel du sol, avec horizon d'accumulation B (OUDIN), et celle des eaux souterraines, qui ont largement contribué à la formation des croûtes, si abondantes dans tout le périmètre (DEL VILLAR).

Il en est résulté des sols relativement superficiels (à roche mère et à croûte parfois affleurante), calcaires de par leur origine, à dominante d'éléments fins, à structure motteuse granuleuse, à texture limoneuse fine, à pH très légèrement alcalin (7,3-7,5).

La plupart sont riches en potasse, assez bien pourvus en azote, mais souvent pauvres en acide phosphorique assimilable; ils ne sont que peu

ou pas salés, mais risquent de le devenir par le fait des irrigations faites avec les eaux de l'Oum er Rebia, beaucoup plus chargées; tous sont très pauvres en humus.

LOUDIN les considère comme des sols bruns calcaires, et DEL VILLAR comme des sols châtain, du type « calcaire à croûte » et, dans certaines parties, comme des sols oropédiques. Du point de vue agrologique, ce sont des terres argilo-limoneuses, ou limono-sableuses calcaires, de faible épaisseur et reposant sur une couche calcaire, perméable ou non.

Une étude plutôt agrologique que purement pédologique a été entreprise par BRYSSINE, GRILLOT, VIRELIZIER dans la région des Triffas (Maroc oriental) où l'on peut distinguer trois zones (Sud, Centre, Nord) géographiques.

La première est constituée par des sols à croûte lamellaire, avec des taches sans croûte; la seconde (cuvette des Triffas), subdivisée elle-même en cinq parties : sols à croûte lamellaire (Martimprey), mêmes terres mais sans les débris calcaires fréquents dans les précédents (bande étroite de l'oued Kiss), sols argilo-sableux rouges marron non calcaires reposant sur une dalle de calcaire dur (collines pliocènes), sols profonds sans croûte, sauf dans quelques taches, souvent rouges (plaine basse des Triffas), sols chocolat brun foncé (Madar). La troisième zone, formée de collines E.-O., à sols siliceux à croûtes et débris, ou argilo-sableux sur dalle, les dépressions contenant des sols rouges avec taches et amas calcaires.

Cette même région a fait également l'objet d'une étude, non encore publiée, de GAUCHER.

YOVANOVICH attire l'attention sur la modification permanente du squelette du sol que peut provoquer le phénomène de solifluxion et sur un classement des liaisons qui existent entre la morphologie structurale et la pédologie.

Dans la conférence faite devant l'A. M. E. S., à la suite de la mission qu'il a accomplie au Maroc (22 mai 1939), le professeur LOUDIN a rappelé les principes et les bases de la pédologie et exposé les impressions tirées de son voyage. Il a signalé, entre autres, la diversité des conditions climatiques et des sols de ce pays, où l'on retrouve la plupart des types classiques, y compris ceux des régions océaniques, et même nordiques, en dépit d'une température plus élevée et d'une pluviométrie généralement beaucoup plus faible. Il émet l'opinion que les phénomènes d'évolution sont plus accentués et plus rapides au Maroc que dans la France continentale.

Dans le secteur humide, il a rencontré des sols riches en matières organiques, à très faible pH., puis de vrais podzols et des terres à alios, des terres lessivées, des sols bruns véritables, des rendzines à divers

stades. Dans les stations semi-arides, les sols sont, au contraire, à réaction neutre ou franchement alcaline, des pseudo-rendzinas auxquelles s'apparentent les tirs et les hamris superficiels et calcaires.

On trouve également des terres non évoluées, telles que les sols de montagne complètement décapés, des alluvions dans lesquelles l'horizon A est constamment renouvelé par des apports successifs. Le professeur OUDIN aborde ensuite l'aspect pratique et utilitaire de la pédologie, indiquant, par exemple, que tous les sols qui appartiennent à un même type possèdent les mêmes propriétés et, par suite, la même vocation et les mêmes aptitudes.

Il traite enfin de l'important problème de l'irrigation.

Pendant ce temps CELERIER faisait une intéressante étude sur la formation des Merdjas, reprise ensuite par SONNIER, DEL VILLAR et par CARLE. Ce dernier, en résumant ces travaux antérieurs, signale les différentes formations provenant du comblement de l'ancien estuaire riffain (sables rouges, sables noirs, tirs à gley et doess) et telles qu'elles ont été décrites par DEL VILLAR, puis les dunes côtières formées par le lessivage intense des sables déposés par la mer, leur décalcification avec accumulation du calcaire dans un horizon de sols rouges.

L'aire des sables rouges est criblée de petites merdja, dont le fond est rempli de sables noirs plus ou moins humifères, mais dont certains font présager une formation de tirs qui, eux, constituent plus particulièrement les grandes merdja, et dont l'origine alluvionnaire disparaît sous les actions climatiques de surface et, aussi, de profondeur (solutions chargées d'haloïdes).

CARLE signale ensuite les moyens d'améliorer ces tirs, notamment par le compartimentage.

Cette question des buts pratiques de la pédologie avait été discutée par CARLE, qui estimait que l'étude pédologique d'un sol est, et doit être, entreprise indépendamment de toute idée de fertilité; son but essentiel est d'en rechercher la genèse et l'évolution, et de dresser la carte pédologique.

Au cours de la discussion qui a suivi cet exposé, MIÈGE a soutenu que, si l'objectif essentiel de la pédologie est, en effet, désintéressé et ne vise pas directement les applications agricoles, il n'en reste pas moins, à son avis, que les investigations qu'elle poursuit se confondent avec les déterminations faites par les agronomes pour la recherche de la vocation et de l'exploitation des terres.

ERHART déclare même que toute l'expérimentation agricole, et jusqu'à la génétique, devraient reposer sur la pédologie, et que l'on devrait utiliser largement la sélection pédologique. BAYENS a proposé et établi une « échelle pédologique de fertilité » pour les principales cultures du Bas-Congo.

De son côté, MIÈGE a mis en relief l'influence de la nature du sol sur la composition chimique et la valeur boulangère du blé, influence qu'il a précisée plus tard avec BRODSKIS.

Enfin, BRODSKIS suggère une nouvelle classification des sols basée sur l'évolution de leur alcalinité et faisant intervenir, dans leur genèse, la notion de temps, introduite par KOSSOVITH. La croûte terrestre, initialement riche en sels alcalins, a d'abord donné naissance à des sols alcalins, qui constituent le premier stade d'évolution. Ces sels étant très mobiles et s'éliminant plus facilement que les alcalino-terreux, le second stade correspond à des sols alcalino-terreux (calciques) qui, à leur tour et au troisième stade, formeront les sols acides, par élimination des sels alcalino-terreux. Les facteurs essentiels de cette décalcification progressive sont : les conditions climatiques, dont l'influence pourra être combattue par celle des conditions locales (relief, hydrologie, etc...), qui prolongeront ou raccourciront certains stades de sorte que, dans une même zone, l'on trouvera des terres qui ne sont pas au même état d'évolution.

L'auteur donne divers exemples. C'est ainsi, dit-il, que, sous climat aride, le solonetz (alcalin) représente le premier stade mais que le climat azonal peut avoir contribué à un stade plus avancé et à la constitution d'un type alcalino-terreux (podzol).

Entre temps, MIÈGE avait étudié la question des eaux salées au Maroc, question qui a été également examinée par CARLE et, en Algérie, par plusieurs auteurs, notamment par MANQUÈNE et par GAUCHER. L'intérêt de ce problème a paru si grand qu'il avait amené l'A. M. E. S., en 1939, à entreprendre une vaste enquête sur la salure des terres et des eaux dans tout le protectorat et à le soumettre à la discussion générale des membres du groupement. Malheureusement, la guerre mondiale a interrompu ces recherches, qui mériteraient d'être reprises.

Étant donné l'importance capitale de l'eau en Afrique du Nord, aussi bien dans l'évolution des sols que pour leur exploitation, MIÈGE établit le « bilan de l'eau et des éléments fertilisants dans quelques sols types du Maroc », reconstitués en cases lysimétriques, et maintenus en jachère ou en cultures continues, avec ou sans fumure complète.

Ces essais, poursuivis pendant deux années consécutives, ont montré que l'écoulement de l'eau était directement proportionnel à la quantité d'éléments grossiers et en relation inverse avec la teneur en éléments fins du sol. Immédiat, rapide et permanent dans les terres légères, même emblavées, il ne commence que tardivement et s'arrête très tôt dans les terrains compacts. Le taux d'humidité varie, dans une large mesure, avec leur nature. L'allure du mouvement de l'eau est caractéristique du type de sol considéré. Quant à la quantité globale d'éléments fertilisants entraînés par les eaux de drainage, si elle est déterminée

par l'abondance et le rythme des précipitations, elle dépend aussi du complexe absorbant du sol.

Dans le même ordre d'idées, il étudie ensuite l'allure de « La percolation des eaux dans quelques types de sols marocains » (r'mel, hamri, tirs) et en sable.

Cette question des rapports du sol avec l'eau conduit également MIÈGE à entreprendre avec BRYSSINE des « recherches sur quelques propriétés particulières des tirs noirs du Gharb », terres qui ont fait l'objet d'un travail remarquable et complet du professeur DEL VILLAR, ainsi que des observations sagaces d'un agriculteur des plus avertis de cette région, M. MONZIES.

Ces terres, vastes et fertiles, ont, avec l'eau (de pluie ou d'inondation) un comportement très spécial dont, malgré son importance pratique et ses graves répercussions sur l'agriculture locale, la nature et les causes sont encore hypothétiques.

« Sous l'action des pluies, elles se gorgent d'eau et se recouvrent d'un masque, ou glaçage, complètement amorphe, d'une épaisseur de 2 à 5 cm., masque formé d'une boue liquide, uniforme qui, en séchant, se fendille, devient très dure et, par la suite, ne reprend que très lentement sa structure granuleuse, à tel point que l'on retrouve des morceaux intacts mélangés à la terre cultivée, même au bout de trois ans. »

Les recherches entreprises par MIÈGE et BRYSSINE (analyse mécanique, microstructure, complexe absorbant, matière organique et colloïdes, pouvoir filtrant, retrait, hygroscopicité maximum, humidité équivalente, etc...) ont montré que ces terres possèdent une énorme capacité d'absorption et de rétention. L'eau qu'elles absorbent détermine le gonflement des colloïdes, par suite, la réduction progressive des espaces lacunaires qui, à son tour, ralentit l'écoulement de l'eau qui, ainsi, prolonge et accentue ses effets, jusqu'à saturer le sol et, dépassant la « limite supérieure de plasticité », à s'intercaler entre les particules fines et dispersées qui, n'ayant plus alors aucun lien entre elles, se déplacent les unes par rapport aux autres, entraînant la perte de toute consistance et de perméabilité du sol, et sa transformation en boue plus ou moins liquide.

DEL VILLAR fait également intervenir dans ce phénomène l'action de la silice colloïdale et des sesquioxydes.

La même question du comportement des terres avec l'eau et les sels fait l'objet d'une série de recherches, mises en route par MIÈGE, au laboratoire et dans le périmètre des Beni-Amir (Tadla) irrigué avec les eaux salées de l'Oum er Rbia.

Ces travaux ont été poursuivis par BRYSSINE.

En dehors des travaux que nous venons d'énumérer — en nous excusant d'en avoir probablement et involontairement omis quelques-

uns — les principales et les plus importantes études pédologiques ont été effectuées, au Maroc, par le professeur H. DEL VILLAR, président de la sous-commission méditerranéenne de l'Association internationale de la Science du Sol. Ces recherches apportent bien plus qu'une contribution à la connaissance des sols nord-africains, et elles constituent vraiment le premier travail d'ensemble sur cette question essentielle.

Ainsi, comme nous le disions au début de cet exposé, la pédologie, malgré la date récente de son introduction au Maroc, y a fait l'objet de travaux déjà nombreux, qui demandent pourtant à être poursuivis, et auxquels ce Congrès donnera certainement une nouvelle impulsion.

SUR LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LE SOL

Observations en cases lysimétriques.

Par H. ROSEAU,

Directeur des Recherches d'Agrologie
à l'École Nationale d'Agriculture d'Algérie.

Les cases lysimétriques, édifiées en 1940 à l'Institut agricole d'Algérie, nous ont permis des observations intéressantes touchant la circulation de l'eau dans le sol, sous l'influence des facteurs climatiques, pluviométrie et température.

Nous retiendrons les observations relevées dans les cinq cases dont la paroi libre est exposée au nord : deux de ces cases sont constituées par les alluvions récentes (*Ar*), trois par les alluvions anciennes (*Aa*), ces terres provenant de la plaine du Chélif. Les cinq autres cases symétriques, dont la paroi libre est exposée au sud et s'échauffe sur toute la hauteur sous l'influence de l'insolation, présentent des observations de ce fait un peu différentes.

Ces deux types de terre — alluvions récentes et alluvions anciennes de la plaine du Chélif — ont, de l'avis même des agriculteurs de cette région, un comportement différent à l'égard de l'eau. Les alluvions anciennes sont beaucoup plus perméables que les alluvions récentes.

Leur profil, reproduit exactement dans nos cases, est formé d'un certain nombre d'horizons, dont l'analyse est donnée dans les tableaux I et II. L'examen de ces tableaux montre que la composition élémentaire des trois horizons des alluvions anciennes (*Aa*) et de l'horizon supérieur des alluvions récentes (*Ar*) est à peu près identique et, qui plus est, les horizons plus profonds des cases *Ar* sont surtout constitués par du sable fin, avec un taux d'argile bien moindre. Il n'en demeure pas moins que ces cases *Ar* ont confirmé les observations des praticiens du Chélif, elles sont moins perméables que les alluvions anciennes.

Ces cases présentent une surface de 3 m² 70 et une hauteur de terre de 1 m 90 et les sols y ont été reproduits suivant leur profil originel. L'eau de drainage est recueillie par un ajutage placé à la base des cases, tous les matins à 8 heures.

Nous suivons la façon de réagir de ces deux types de sols — en cases lysimétriques — aux facteurs atmosphériques : pluie et température. Au cours des années antérieures nous avons enregistré une augmentation du drainage à la suite d'un relèvement brutal de la température,

et nous avons dirigé nos observations en 1945-1946 et en 1946-1947 dans ce sens.

Notons d'ailleurs que chaque case reçoit, depuis 1940, un engrais-type toujours le même, ce qui se traduit, avec le degré de fertilité différent des deux types de terre, par une végétation différente d'une case à l'autre.

Nos cases ont porté au cours de ces années les cultures suivantes :

ANNÉES AGRICOLES	CULTURES	CASES OCCUPÉES du..... au.....
1941-1942	Pommes de terre	5 janvier-27 mai
1942-1943	Aucune culture	
1943-1944	Orge	23 décembre 1943-30 mai 1944.
1944-1945	Navets et carottes	17 octobre 1944-22 mai 1945.
1945-1946	Navets et carottes	26 novembre 1945-3 mai 1946.
1946-1947	Navets et carottes.	25 novembre 1946-16 avril 1947.

Ces cultures, à développement différent d'une case à l'autre, peuvent expliquer le manque de synchronisme dans l'écoulement de cases à même nature de terre. Mais, dans l'ensemble, elles n'altèrent pas l'allure générale du phénomène.

* * *

I. VARIATION DU DRAINAGE DES CASES AVEC LA PLUVIOSITÉ.

Campagne 1945-1946.

Le Tell algérois a été caractérisé par une pluviosité supérieure à la normale : 764 mm au lieu de 672 mm. Les pluies sont tombées tardivement à l'automne, les premières chutes importantes ont eu lieu fin octobre et les pluies se sont prolongées jusqu'à la fin mai. Septembre n'enregistre que 3 mm 2 de pluies sur deux jours (25 et 26 septembre). *Octobre* ne reçut de pluies importantes que le 29 (16 mm 9), puis les 30 et 31 (17 mm 4 au total).

Il n'en est résulté aucun drainage aussi bien chez les Aa que chez les Ar.

Novembre.

Du 1^{er} au 10 novembre, des pluies réparties sur toute cette période ont totalisé 17 mm; le 11 à 7 heures, on a noté 37 mm 5 mais, jusque-là, aucune réaction ne s'est manifestée chez les cases, aussi bien les Aa que les Ar.

Les premières eaux de drainage ont été collectées le 12 à 8 heures

chez les cases Aa, les cases Ar n'égouttèrent que le 13, soit vingt-quatre heures plus tard.

Ainsi, lorsque les cases ont commencé de drainer, elles ont reçu des hauteurs de pluies différentes et ceci est mis en évidence dans le tableau suivant, le drainage étant calculé en 1/1000 de millimètre (μ) sur l'ensemble des trois cases Aa et des deux cases Ar.

Novembre 1945.

NATURE des cases	DATE de l'égout	IMPORTANCE de l'égout par heure (en μ)	PLUIE REÇUE depuis le 1 ^{er} septembre	OBSERVATIONS
Aa	12 à 18 h.	1.600	99 mm 2	dont 44 mm 7 du 11 (7 h.) au 12 (7 h.).
Aa	13 à 8 h.	845	130 mm	dont 31 mm du 12 (7 h.) au 13 (7 h.).
Ar	13 à 8 h.	632	130 mm	id.

Les cases Aa qui avaient reçu 99 mm 2 de pluie le 12, à 8 heures, avaient à cette date un drainage important (1.600 μ /heure). Il est très possible que ce drainage ait débuté plus tôt. Les Ar par contre n'ont eu qu'un égout le 13, à 8 heures, et moins important que celui des Aa la veille — et cela à la suite d'une pluie supplémentaire de 31 mm au cours des dernières vingt-quatre heures.

Nous présumons que les terres, pour égoutter, exigent d'être portées d'abord à leur capacité maximum. Ce seuil atteint, elles laissent partir toute l'eau excédentaire. Ce qui traduit des différences de perméabilité apparente.

A partir de ce moment les pluies reçues par les cases provoquent une augmentation d'écoulement, mais ces deux types de terres continuent à réagir différemment à la pluie.

Après la pluie de 12 mm 4, recueillie le 14 à 7 heures, il n'y a plus de chute importante jusqu'au 21.

La pluie du 20 au 21 (7 heures), 11 mm 2, trouve une réaction différente chez les cases, le 21 à 8 heures.

CASES	RÉACTION à la pluie	ÉCOULEMENT HORAIRE (EN μ)	
		Le 20 à 8 h.	Le 21 à 8 h.
Aa	Insensibles	48	41
Ar	Sensibles	18	69

Nous avons ici un comportement différent des deux types de terre. Ce qui peut s'expliquer de la façon suivante : les Aa, pendant toute la période antérieure, ont laissé perdre toute leur eau excédentaire, elles

ont tendu vers leur point d'humidité équivalente. Les Ar, au contraire, ont laissé plus difficilement partir leur eau excédentaire. Elles sont demeurées à un taux d'humidité très voisin de leur capacité maximum; autrement dit, elles exigent un laps de temps plus long pour atteindre leur point d'humidité équivalente, elles se ressuient lentement.

Un observateur non averti, mis en présence de l'écoulement des cases le 21 au matin, peut être tenté d'estimer que, puisque les cases Ar ont un écoulement horaire supérieur à celui des Aa à la suite de la pluie reçue, elles ont une perméabilité supérieure. Il faut plutôt conclure que les Ar se trouvent plus près de leur capacité maximum et, pour cette raison, elles laissent écouler plus d'eau que les Aa. Ces dernières doivent d'abord parfaire leur taux d'humidité jusqu'à leur capacité maximum avant de laisser partir l'excédent, d'où leur retard par rapport aux Ar dans l'augmentation de l'écoulement. Ce qui se traduit, en définitive, par une perméabilité plus grande chez les Aa puisqu'elles ont atteint plus rapidement leur taux d'humidité équivalente.

Les observations relevées au cours de la période du 20 au 30 novembre mettent bien en évidence ce comportement différent de ces deux types de terres.

Novembre.

	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Pluie en mm de J-1 à J (7 h)	0	11,2	0	6,7	0	0	4,4	0	1,2	0	0
Écoulement horaire en µ à J (8 h.)											
Cases A a . . .	48	41	37	32	45		84	68	65	60	54
Cases A r. . .	18	69	44	68	45		35	25	18	14	15

La pluie du 22 au 23, 6 mm 7, provoque immédiatement le 23, à 8 heures, une recrudescence de l'écoulement horaire chez les Ar, tandis que les Aa restent insensibles. Elles ne se manifesteront qu'avec un retard de vingt-quatre heures puisqu'on enregistre chez elles une reprise de l'écoulement le 24 et, à partir de ce moment, étant à leur tour à leur capacité maximum, elles deviennent plus sensibles à une nouvelle chute de pluie, celle du 26, 4 mm 4, qu'elles accusent par une augmentation nette (à 8 heures) de leur écoulement horaire.

Des observations identiques ont été relevées au cours des mois suivants :

Décembre.

0 mm 3 de pluie le 2 décembre provoque une accentuation de l'écoulement horaire, le 3, chez les Ar, les Aa étant insensibles.

De même 1 mm 5 le 5.

Les Aa ne seront sensibles qu'à une succession de journées de pluie du 7 au 10, et surtout aux 15 mm 8 du 10, qui provoquent le 11 une reprise de l'écoulement chez les deux types de terre et plus encore chez les Aa que chez les Ar.

Janvier.

La sécheresse prolongée de la deuxième quinzaine de décembre (il n'est tombé que 12 mm 9 de pluie du 14 au 31 décembre) fait que l'égout horaire des cases diminue, et le 2 janvier il est 15 mm 5 chez les Aa, 8 mm chez les Ar.

Les deux pluies de 4 mm 9 le 2, et de 9 mm 4 le 5, ne provoquent dans ces conditions aucune accentuation dans l'écoulement horaire chez les Aa et les Ar.

Les 23 mm 1 tombés entre le 14 et le 16, à 7 heures, se manifestent par une reprise nette de l'écoulement chez les Ar dès le 16, 8 heures, tandis que les Aa présentent encore un décalage de vingt-quatre heures, l'augmentation de leur égout se manifeste le 17 au matin. A partir de ce moment les deux types de terre sont à leur capacité maximum et toute pluie un peu importante amène une accélération de l'écoulement chez ces deux terres. C'est ce que donnent les écoulements, à partir du 21, sous l'influence des chutes de pluies importantes de la fin de janvier. Maximum d'écoulement horaire plus grand chez les Aa, mais écoulement important se manifestant sur une plus longue durée chez les Ar.

Février.

Février est un autre mois sec, 27 mm de pluie au total. L'écoulement horaire diminue graduellement et les pluies de 8 mm le 11, et de 12 mm le 22, n'ont plus d'action même chez les Ar, qui doivent être au-dessous de la capacité maximum. Finalement l'égout cesse complètement chez les Ar, tout en continuant faiblement chez les Aa.

Mars.

Les pluies du début de mars sont sans action sur ces terres desséchées, sauf sur la case 28 (Aa) qui accuse, dès le 6 mars, une augmentation de l'écoulement après avoir reçu 24 mm 6 de pluie au cours des journées précédentes. Le 9 mars les cases 28 et 29 (Aa) et la case 27 (Ar) ont un écoulement important. Elles ont reçu, depuis le 1^{er} mars, 54 mm de pluie, les cases 26 (Ar) et 30 (Aa) sont encore insensibles. Elles n'écouleront d'une manière nette que le 11, après 7 mm 3 de pluie supplémentaire.

Cette discordance entre cases de même nature peut s'expliquer de deux façons :

1^o Les cases 27 (Ar), 28 et 29 (Aa) étaient beaucoup plus fissurées que les n^{os} 26 et 30.

2^o Les cases 26 et 30 étaient dans un état de dessiccation plus accentuée que les trois autres.

A partir du 12, les cases de même nature sont synchrones, les fissures sont bouchées, par suite du gonflement de la terre humidifiée.

La pluie du 14 (4 mm) provoque, dès le lendemain, une accentuation de l'écoulement horaire chez les deux terres.

Les pluies insuffisantes de la dernière quinzaine de mars n'amènent aucune réaction, et l'écoulement cesse le 25 chez les Ar, tandis que chez les Aa il est encore de 29 mm ce jour-là, et de 13 mm 6 le 30.

Avril.

Les pluies reçues, 2 mm 9 le 4, 10 mm 3 le 5, n'ont aucune influence sur l'écoulement des cases. Il continue à baisser progressivement chez les Aa jusqu'au 18. Il faut l'importante chute de 36 mm 9 sur quatre jours (du 14 au 17), dont 24 mm 7 le 16, pour provoquer le 18 une reprise sensible de l'écoulement horaire chez les Aa qui passe de 3 mm 2 le 17, à 35 mm le 18. Les Ar restant encore insensibles.

La chute de pluie de 32 mm 6 le 22, suivie de 5 mm 8 le 23, augmente très fortement l'écoulement des Aa le 23 (482) et déclenche ce même jour celui des Ar (161).

Nouvelle baisse progressive de l'écoulement horaire chez ces deux types de terres jusqu'au 30 avril, que n'interrompt pas la pluie du 25 (8 mm 3).

Mai.

Les quelques pluies tombées jusqu'au 18 ne provoquent aucune augmentation du drainage.

Les 10 mm 4 du 19 et 38 mm 3 du 20 produisent une faible reprise de l'écoulement le 20 chez les Aa (18 mm 7), tandis que les deux cases Ar réagissent différemment : la case 26 présente un écoulement horaire de 28 mm 1, pendant que celui de la n^o 27 passe à 338, discordance due sans doute à des fissures.

Le 21 les cases de même nature sont synchrones et l'écoulement est de : 278 chez les Aa et 163 chez les Ar.

Les cases se trouvent de nouveau à leur capacité maximum, donc sensibles à toute nouvelle pluie importante et, en effet, les 13 mm 7 du 22 et 7 mm 2 du 23 déclenchent chez ces deux terres une accentuation nette de l'écoulement horaire.

Puis de nouveau, période de sécheresse provoquant une baisse dans l'écoulement horaire.

Juin-Juillet.

Aucune pluie importante — l'écoulement baisse progressivement et lentement — pour cesser le 12 juillet chez les Ar et le 31 juillet chez les Aa.

ENSEIGNEMENTS A TIRER DE CES QUELQUES MOIS D'OBSERVATION

L'écoulement dans un type de terre se manifeste lorsque la terre est à sa capacité maximum.

Les capacités maxima ne sont pas les mêmes chez ces deux terres.

Celle qui a la capacité maximum la plus faible (Aa) égouttera plus rapidement, et cela se conçoit : dès le moment où elle aura atteint ce point, l'eau sera par la suite en excès et s'écoulera.

L'autre type de terre Ar, présente une capacité maximum plus élevée, elle réclame donc un plus fort volume d'eau pour atteindre ce point.

Puis la pluie cessant quelques jours, la terre qui présente la capacité maximum la plus faible (Aa) s'assèche plus rapidement que l'autre. De sorte que lorsqu'une nouvelle pluie importante surgira, si la période de sécheresse n'a pas été trop longue, les deux types de cases continuant à drainer, c'est la terre Ar qui sera sensible la première parce que plus près de sa capacité maximum. Elle présentera ainsi une perméabilité apparente plus élevée.

Si, par contre, une longue période de sécheresse s'installe, les cases Ar cessent d'écouler tandis que l'écoulement peut continuer pendant un certain temps chez les cases Aa. Une pluie assez importante survenant à ce moment, ce sont les cases Aa qui vont manifester les premières une reprise du drainage, elles sont plus près que les Ar de leur capacité maximum, mais il faut aussi penser que dans l'intervalle de ces pluies, la dessication chez les Ar s'est poursuivie après l'arrêt de l'égouttage par l'évaporation de son eau dans l'atmosphère.

Enfin, un autre enseignement est à retenir.

Les pluies d'avril 32 mm 6 le 22, 5 mm 8 le 23, 8 mm 3 le 25, au total 46 mm 7, maintiennent ces terres en bon état d'humidité — et cela jusqu'aux pluies importantes des 19, 20 mai — puisque au cours de cette période de près d'un mois à pluies rares, le drainage chez les deux types de cases n'a pas cessé. Les nouvelles chutes de pluies en mai : 10 mm 4 le 19, 38 mm 3 le 20, 13 mm 7 le 22 et 7 mm 2 le 23, maintiennent encore le drainage de ces cases jusqu'au 12 juillet pour les Ar, et au 31 juillet pour les Aa.

Ce qui veut dire que dans cette période avril-mai, chez ces deux types de terres, des irrigations à un mois d'intervalle comparables à ces chutes de pluies — 46 mm 7 en avril — soit 467 m³/hect. et 59 mm 3 en mai, soit 593 m³/hect. peuvent maintenir ces terres (ne portant, il est vrai, aucune culture) en état d'humidité suffisante pendant une longue période.

Partant de ces données et connaissant les besoins du végétal en eau, il serait possible de fixer pour cette période de l'année l'espacement des irrigations dans le temps et le nombre de mètres cubes d'eau à fournir par hectare et par irrigation.

*
* *

INFLUENCE D'UN AUTRE FACTEUR ATMOSPHÉRIQUE : LA TEMPÉRATURE

A plusieurs reprises — alors que l'écoulement des cases diminuera parce que les terres tendent vers leur humidité équivalente, nous avons constaté un arrêt dans la chute régulière du taux d'écoulement horaire et même quelquefois, une augmentation, alors qu'aucune chute de pluie ne s'était produite.

Au cours des années antérieures, nous avons constaté ce phénomène et nous avons observé l'action d'un sirocco sur l'augmentation de l'écoulement horaire, en particulier en 1943, le 22 janvier, les 10 et 11 mai et le 2 juillet.

A quoi attribuer ce phénomène?

Nous croyons l'expliquer de la façon suivante :

Sous l'influence d'un relèvement de la température atmosphérique, le sol s'échauffe et l'eau contenue dans les canalicules de la couche supérieure se vaporise. Une partie de cette vapeur d'eau se perd dans l'atmosphère, une autre se déplace dans le sol de haut en bas. Cette vapeur d'eau se déplaçant dans les canalicules, trouve en profondeur une zone plus froide et se condense suivant le principe de la paroi froide, cette condensation apporte une surcharge aux gouttes d'eau qui cheminent dans ces canalicules. Cette surcharge se répercute jusqu'à la partie inférieure se traduisant par une légère augmentation de l'écoulement.

Nous ne pensons pas qu'il faille retenir pour l'expliquer un changement dans la viscosité de l'eau, changement qui serait provoqué par le relèvement de la température. En effet, cette observation n'a pu être faite que lorsque les cases sont vers la fin de l'égouttage (moins de 100 cc par heure). Lorsque le drainage tombe à ce taux, l'eau libre se trouve, en effet, dans les couches profondes que n'atteint pas alors le relèvement de la température atmosphérique.

En tout cas cette reprise de l'écoulement sous l'influence de la tem-

pérature est caractérisée par le synchronisme des cases et la spontanéité du phénomène.

Observations sur le synchronisme.

Toutes les causes sont sensibles en même temps à ce phénomène. Chez toutes les cases, et pour les deux terres, nous enregistrons cette augmentation d'écoulement sous l'influence du relèvement de la température. Il y a ici synchronisme. Lors d'une pluie, par contre, il n'y a pas synchronisme dans l'écoulement dans les cases Aa et les cases Ar, il y a toujours un décalage. Bien plus, chez les cases de même nature, il y a souvent discordance au départ de l'écoulement. Cela est dû, sans doute, à ce que ces cases sont fissurées différemment.

Observations sur la spontanéité du phénomène.

Les terres recevant de l'eau de pluie, présentent un certain décalage entre le moment où elles reçoivent cette eau et le moment où le drainage augmente. Ce décalage n'est pas le même pour les Ar et les Aa. Il est fonction, comme nous l'avons vu antérieurement, de leur taux d'humidité.

Lorsque l'augmentation de l'écoulement est le fait de la température, le phénomène est spontané.

Nous croyons retenir l'explication suivante :

Dans le premier cas, à la suite de la pluie, l'eau imbibe toute la terre, les canalicules sont plus ou moins détruits, seules quelques fissures chez certaines cases persistent, tout au moins au début, ce qui explique le décalage entre les cases. Mais dans l'ensemble il n'y a d'abord imbibition générale de la terre et ce n'est que lorsque toute la terre est imbibée que l'écoulement se produit.

Dans le second cas, les canalicules sont toujours en place, il y a tout simplement une surcharge de la colonne d'eau des couches inférieures, surcharge provoquée par la distillation d'où ce caractère de spontanéité.

Nous avons constaté ainsi, au cours de l'année 1945-1946, des paliers dans la chute de l'écoulement horaire, et même une légère augmentation de cet écoulement *dans toutes les cases* aux dates ci-après :

1945 : 28 décembre.

1946 : janvier, les 8, 9, 10, 11 et 12; février, les 9, 16
21 et 28.

Pour mettre en évidence d'une façon plus nette l'action de la température sur ce phénomène, nous avons, au cours du printemps dernier (en mars), relevé à 8 heures et à 14 heures, la température du sol à

20 cm de profondeur, chez deux cases Ar (une binée, case n° 27), l'autre non binée : case n° 26) et chez deux cases Aa (case n° 30, binée; case n° 28, non binée) et suivi de drainage de ces cases le matin, de 8 heures à 9 heures, et le soir de 16 heures à 17 heures.

D'une façon générale, on constate que la case binée (Aa ou Ar) se refroidit moins au cours de la nuit, et s'échauffe moins dans la journée que la case non binée. Autrement dit les variations de température du sol, sous l'influence du refroidissement nocturne et de l'insolation, présentent moins d'amplitude chez les cases binées que chez les cases non binées. La terre remuée constitue donc un matelas tampon protégeant les couches de sol sous-jacentes, contre les variations de température.

Nous présentons dans le tableau n° 3, les températures sous abri, et celles du sol des quatre cases, en même temps que l'écoulement horaire de 8 heures à 9 heures, et de 16 heures à 17 heures, au cours de la période 4-28 mars (1).

Les chutes pluviométriques en mars ont été les suivantes :

Mars 1947. — Chutes pluviométriques.
(en millimètres).

DATES	7 H.	18 H.	TOTAL
1.		2,2	2,2
2.	0,2		0,2
6.	0,0		0,0
8.	3,5		3,5
24.		1,7	1,7
25.	0,6		0,6
29.		0,5	0,5
31.		0,0	0,0
TOTAL DU MOIS.			8,7

Pluies donc nettement insuffisantes pour pouvoir, comme nous l'avons vu précédemment, influencer le drainage.

Dans l'ensemble les cases Aa et Ar suivies, qu'elles aient été binées ou non, ont un drainage supérieur le soir à celui du matin, et cela est en relation avec la température atmosphérique, et avec celle du sol à 20 cm de profondeur plus élevée à 14 heures qu'à 8 heures. La quantité de chaleur emmagasinée par le sol des cases, pendant la période de 9 heures à 17 heures, est ainsi plus grande que celle emmagasinée au cours de la nuit.

(1) Pour donner plus d'expression à ces chiffres, nous avons exprimé l'écoulement horaire en centimètres cubes, au lieu de l'exprimer en μ comme précédemment.

On ne constate que quelques divergences dans ce phénomène, le 6, chez les cases n^{os} 28 et 30; le 8, chez les cases n^{os} 26, 28 et 30; le 14, chez la case 28; le 19, chez les cases 28 et 30; enfin les 22 et 28, chez les cases n^{os} 26 et 27. Cela est sans doute dû à l'influence d'autres facteurs, vraisemblablement les 0 mm 0 et 3 mm 5 de pluie les 6 et 8 mars.

Toujours est-il qu'en dehors de ces faibles divergences, le phénomène est bien général et l'on peut dire qu'il y a entre l'élévation de la température et l'augmentation du drainage une relation de cause à effet.

Pour mieux saisir les chiffres du tableau n^o 3, nous avons représenté, pour la semaine du 10 au 15 mars, par des schémas (n^{os} 4 et 5) les températures du sol des quatre cases et l'écoulement chez les cases non binées (Ar n^o 26 et Aa n^o 28); les températures du sol étant relevées à 8 heures et à 14 heures et les écoulements de 8 heures à 9 heures et de 16 heures à 17 heures, les droites qui relient ces points sont imaginaires et ne sont figurées que pour faciliter la lecture.

Ces schémas font nettement ressortir :

1^o L'influence du binage sur les variations de température du sol chez les deux types de terre;

2^o L'influence de la température sur le drainage.

* * *

Quels enseignements faut-il tirer de ces observations? On sait que, dans le sol, l'eau est soumise à deux mouvements, un dans le sens *per descensum*, mouvement d'infiltration, l'autre dans le sens *per ascensum*, mouvement dû à la capillarité.

On admettait, jusqu'à ces dernières années, que dans les pays chauds, les mouvements *per ascensum* sont importants et que ce sont eux qui conditionnent l'alimentation en eau du végétal. Cette théorie a été détruite par les expériences de Keen à Rothamsted (1922) (1).

Les observations que nous venons de relater apportent une nouvelle preuve à cette absence de circulation *per ascensum* de l'eau dans le sol. Sous nos climats, en été, avec le relèvement de la température ambiante, il se produit une augmentation de la température des couches superficielles, ce qui doit provoquer une perte d'eau de ces couches superficielles tant dans l'atmosphère par évaporation que vers la profondeur, sous forme d'une distillation.

Par conséquent pendant la période sèche, dans un sol non cultivé, le mouvement *per descensum* doit l'emporter.

Ceci doit d'ailleurs nous permettre de réhabiliter les bienfaits du binage et du scarifiage, l'été, sous nos climats, bienfaits qui ont été d'ail-

(1) *The physical properties of the soil*, by Bernard A. KEEN (1931), p. 93.

leurs toujours contestés par les praticiens de ce pays. Deux agronomes américains, WEIHMEYER et HENDRICKSON, ont nié l'économie de l'eau réalisée par les façons superficielles parce qu'exécutées trop tard, une bonne partie de l'eau ayant été perdue par évaporation. Ils pensaient surtout à l'eau remontant par capillarité et se perdant par évaporation.

La circulation de l'eau dans le sol se faisant dans le sens *per descensum*, sous l'influence du relèvement de la température, les bienfaits des binages et des scarifiages trouveraient une explication non pas tant dans la destruction des canaux capillaires, mais surtout dans la création d'une couche de terre remuée qui constitue un véritable écran protecteur des couches immédiatement inférieures contre les variations de température de l'atmosphère ambiante et ainsi serait atténué ce mouvement *per descensum*, qui fait perdre une partie de l'eau dans les couches profondes.

Pour cette raison aussi, il convient également de faire ces binages et scarifiages suffisamment tôt au printemps pour conserver le plus d'eau possible dans le sol.

Autre conséquence de cette évaporation de l'eau en une certaine zone du sol. Les solutions du sol dans cette zone se concentrent, une partie de cette eau s'évaporant dans l'atmosphère, tandis qu'une autre partie distille vers la zone profonde. Il en résulte une concentration, puis un dépôt des sels vers ce niveau en été.

Ceci permet aussi d'expliquer, dans une certaine mesure, la formation de concrétions, de carapaces dans une zone déterminée du sol, en climat aride.

TABLEAU I

*Profil des alluvions anciennes (Aa)
et composition élémentaire des horizons.*

	Aa ₁	Aa ₂	Aa ₃
% de terre fine (à 105°)			
Analyse physique (en gr)			
S. gros siliceux	0,5	0,3	0,4
S. fins siliceux	34,5	32,3	28,5
Limon	11,2	9,5	11,5
Argile.	30,6	28,4	27,0
Calcaire total	21,5	29,0	31,3
Humus.	0,9	0,8	0,4
Cations échangeables (en mgr).			
Sodium	15,0	21,2	30,0
Magnésium	60,0	50,1	103,0
Calcium.	224,0	160,0	152,0
Potassium.	39,6	28,4	44,2

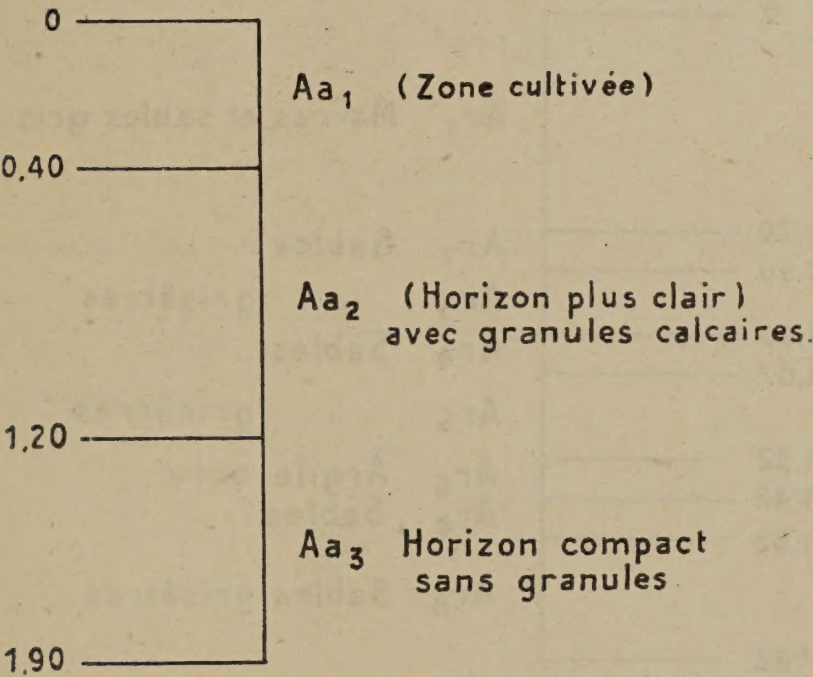


TABLEAU II

*Profil des alluvions récentes (Ar)
et composition élémentaire des horizons.*

	Ar ₁	Ar ₂	Ar ₃	Ar ₄	Ar ₅	Ar ₆	Ar ₇	Ar ₈
% de terre fine à 105°								
Analyse physique (en gr).								
S. gros. siliceux.	2,6	1,6	1,6	2,5	2,3	2,5	6,7	16,4
S. gros. calcaires							3,4	0,7
S. fins siliceux.	21,7	44,8	46,7	46,4	44,5	32,4	50,5	46,0
S. fins calcaires							19,8	18,6
Limon.	21,1	16,5	10,7	12,5	14,0	17,8	12,6	8,1
Argile.	27,6	13,0	13,1	11,6	12,3	19,2	20,7	22,5
Calcaire total	23,7	24,5	25,0	24,0	24,0	25,6	23,4	27,0
Cations échang. (en mgr).								
Sodium	14,2	45,0	38,6	42,5				
Magnésium.	72,6	54,7		54,7				
Calcium	296,0	208,0	192,0	208,0				
Potassium		28,4	27,4	19,8				

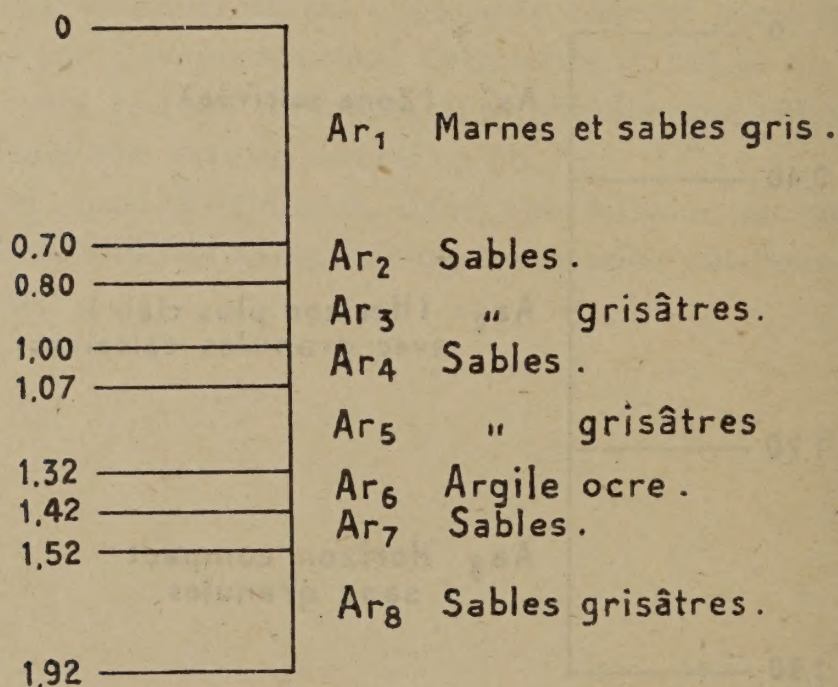


SCHÉMA N° 4.

Cases Ar. — Semaine du 10 au 15 mars 1947.

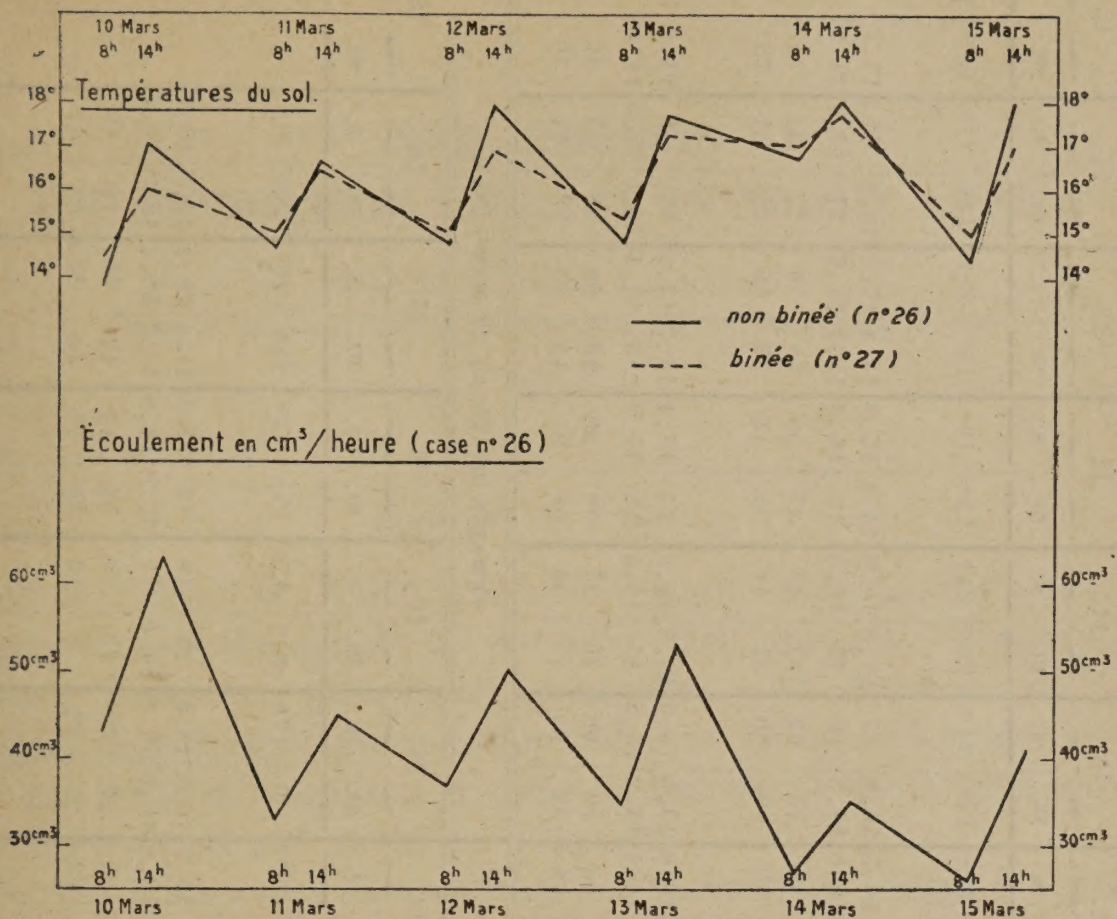


SCHÉMA N° 5.

Cases Aa. — Semaine du 10 au 15 mars 1947.

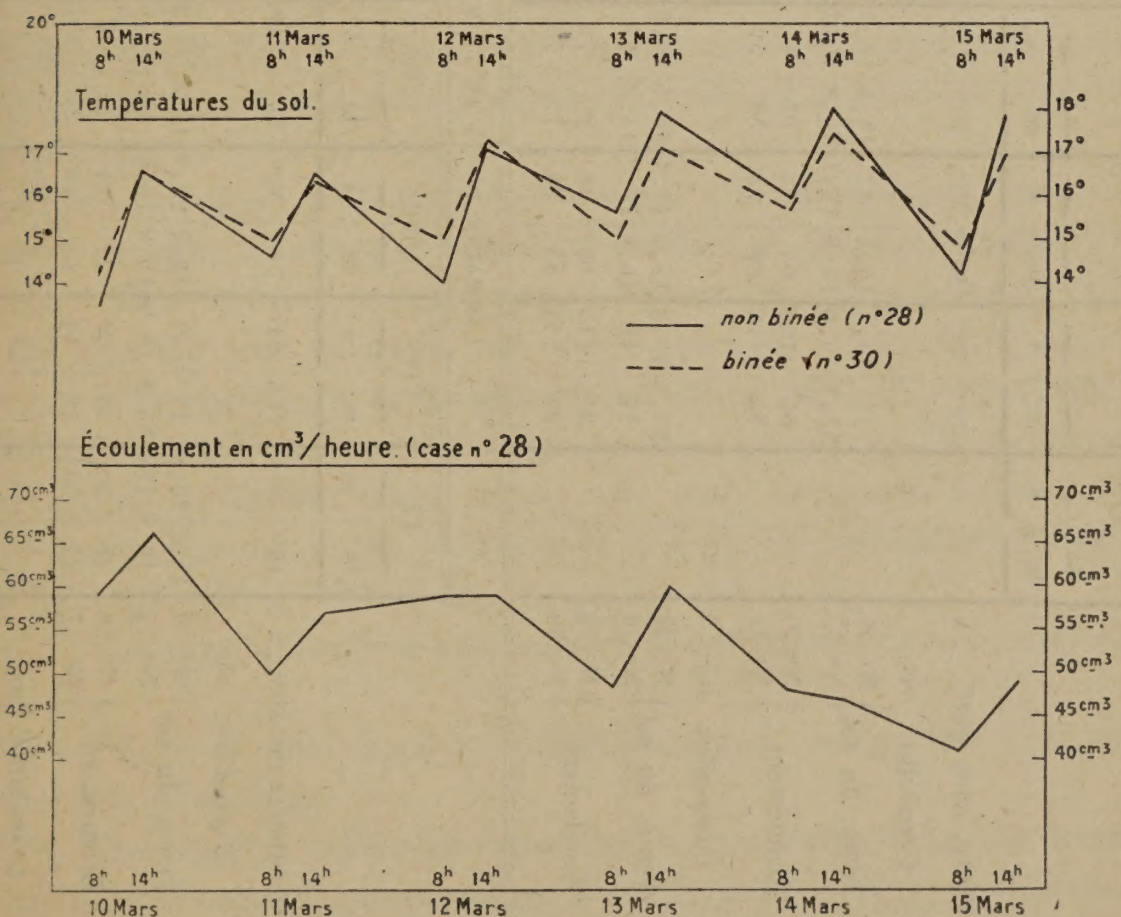


TABLEAU N° 3. — Température du sol à 20 cm de profondeur et écoulement (cm³/heure).

SEMAINE DU 3 AU 8 MARS 1947												SEMAINE DU 10 AU 15 MARS 1947											
3		4		5		6		7		8		10		11		12		13		14		15	
m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.
Temp. sous abri . . .																							
Cases-alluv. réc.																							
Temp. du sol { N° 26.																							
{ N° 27.																							
Écoulement . { N° 26.																							
{ N° 27.																							
Cases-alluv. anc.																							
Temp. du sol { N° 28.																							
{ N° 30.																							
Écoulement . { N° 28.																							
{ N° 30.																							

SEMAINE DU 17 AU 22 MARS 1947												SEMAINE DU 24 AU 29 MARS 1947											
17		18		19		20		21		22		24		25		26		27		28		29	
m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.	m.	s.
Tempér. sous abri . . .																							
Cases-alluv. réc.																							
Temp. du sol { N° 26.																							
{ N° 27.																							
Écoulement . { N° 26.																							
{ N° 27.																							
Cases-alluv. anc.																							
Temp. du sol { N° 28.																							
{ N° 30.																							
Écoulement . { N° 28.																							
{ N° 30.																							

SOIL EROSION AND IRRIGATION STORAGE IN NORTH AFRICA

By W. C. LOWDERMILK.

Chief of Research Soil Conservation Service (Washington D. C.).

Abstract of Paper.

As in California, North Africa has more fertile land suitable for irrigation than the supply of water for that purpose. Water is the limiting factor in agricultural production and development. The seasonal character of precipitation calls for storage of winter-stream flow for summer irrigation. A series of important dams have already been constructed and others are planned.

Silting of reservoirs now existing and those to be created is a matter of highest importance for sustained prosperity of the region. Silt burdens of streams in North Africa come chiefly from soil erosion on the catchment areas. Erosion from heavy grazing by animals or unmanaged grazing, and from cultivation of steep slopes is active and produces heavy silt loads in streamflow. Continuing success of this conservancy development of North Africa will depend on works and measures of erosion control and soil conservation on lands of catchment areas that supply water to storage reservoirs.

Certain principles of reservoir design and protection have been brought to light in silt and sediment studies of the Soil Conservation Service. The best reservoir sites are with few exceptions always chosen for the construction of dams for water storage. Good dam sites are scarce. It is important to safeguard the utility of such reservoirs. It is well to take into account certain practical aspects of the problem of safeguarding reservoir from silting up with erosional debris. Five major considerations in the planning of projects for storage of streamflow may be emphasized. They are :

- (1) The rate, character and sources of silt production in catchment basins;
- (2) Effect of the capacity-catchment area ratio, the C/C ratio, on the rate of silting;
- (3) The relative value of dam-sites as determined by the number of possible sites and the demand for services produced by such projects;

(4) Economic pressure of the discount rate in computing benefits from erosion and sedimentation control; and

(5) The time required for application of erosion control and soil conservation measures and practices, the costs involved, collaboration of land-users, and results to be expected from treatment of the catchment basin.

Of special importance is the C/C ratio, or capacity-catchment area ratio. A small reservoir with a large catchment will have a short life, especially if sediment or silt production per square kilometer is high. Only large reservoirs can be considered feasible on large catchments. Due consideration in planning a reservoir storage needs to be given to the silt or sediment production per square kilometer and to size of catchment in relation to capacity of a proposed reservoir, as well as to possibilities of treating the catchment area against erosion, transport and entrainment of sediments and of venting density-currents of suspended sediments through a dam, and of silt detention works. In southern California, which enjoys a climate and a topography similar to those of North Africa, reservoirs for flood control by detention show remarkable losses of storage capacity from rapid silting or sedimentation. Examples are listed in the following summary table.

Rates of loss of reservoir storage of flood detention dams in Southern California.

RESERVOIR Name	AGA in years	CATCHMENT area in square kilometers	PERCENT of Original Capacity-lost up to 1938	ANNUAL loss in storage in percent of capacity
Pacoima.	9	69.68	16.	1.80
Devil's Gate	18	78.38	35.6	1.98
Sierra Madre.	10	6.11	83.7	8.37
Santa Ana.	10	27.70	27.7	2.77
Sawpit	11	8.37	32.8	2.98
Tujunga No. 1.	7	208.25	24.4	3.48
Eaton.	1	24.26	26.1	26.1
Sunset Canyon.	9	1.12	110.0*	12.2

* Includes 3,236 cubic meters of debris removed in desilting the reservoir since 1929.

Protection of irrigation reservoir capacity from losses by silting is required in long-range development schemes for North Africa. Such protection calls for measures and practices of erosion control and soil conservation within catchment basins that yield water for reservoir storage.

ÉTUDE SUR LA RÉSISTANCE DE CERTAINES CULTURES D'ÉTÉ AUX CHLORURES

Par L. YANKOVITCH (1).

I. — MÉTHODE EMPLOYÉE.

II. — MATÉRIEL ACTUEL.

III. — RÉSULTATS OBTENUS.

1. Observations sommaires sur la réaction des plantes à l'application des chlorures.
2. Importance des pesées de récoltes et de la détermination des chlorures dans les différentes parties de la plante.
3. Remarque sur l'irrégularité des données obtenues.
4. Conclusion générale sur l'action des chlorures sur le rendement.
5. Dose mortelle de chlorures.
6. Constance relative de la teneur des feuilles et des tiges en chlorures au point mortel.
7. Comment les plantes empêchent les chlorures de s'accumuler dans leurs tissus.
8. Limite pratique de la résistance des plantes aux chlorures.

IV. — ORIENTATION DE NOS RECHERCHES DANS L'AVENIR.

I. — MÉTHODE EMPLOYÉE.

Lorsqu'il s'agit de connaître la résistance des plantes annuelles aux chlorures dans les conditions de la pratique, on peut admettre que cette résistance doit être déterminée pour la fin de leur croissance. En effet, semées en automne ou au printemps dans une terre lavée par les pluies, les plantes n'absorberont le sel que le plus tard, quand les pluies seront insuffisantes pour couvrir leurs besoins en eau et quand elles seront amenées à puiser l'eau salée se trouvant en profondeur dans le sol. Pour nous placer dans les mêmes conditions et déterminer la

(1) Recherches du Service Botanique et Agronomique de Tunisie (été 1940).

résistance au sel des plantes adultes (qui peut être assez différente de celle des plantes jeunes), nous les faisons germer en terre saine et pratiquement dépourvue de chlorures, et nous incorporons ces derniers peu avant la floraison, quand les plantes sont bien enracinées et quand leurs racines occupent toute la terre des bacs.

Nous faisons une série de six bacs. Tous les bacs reçoivent la même terre et les mêmes engrais pour obtenir une croissance suffisamment bonne, la même pour toute la série. Les chlorures sont incorporés au moment jugé convenable (presque toujours peu avant la floraison), en doses croissantes que l'on trouvera dans le tableau I.

Le chlorure de sodium est dilué dans un volume d'eau suffisant pour qu'une infiltration importante résulte de l'incorporation de cette solution au bac; l'eau infiltrée, complétée s'il est nécessaire par de l'eau de pluie pour que le récipient de collecte soit presque plein, est reversée sur le bac plusieurs fois de suite (cinq, six fois) pour brasser le sel, c'est-à-dire pour mélanger la solution saline avec la solution du sol. Ce brassage demande deux jours; s'il fait chaud et si le vent est grand, les bacs sont rentrés à l'ombre d'un endroit calme.

Ce brassage énergique pratiqué au moment de l'incorporation est suivi d'un brassage modéré, pratiquement continu, pendant toute la fin de l'expérience ayant pour but d'obliger les chlorures à sortir par le fond du bac pour être reversés, avec l'arrosage suivant, sur sa surface. Dans ces conditions, la solution de sel circule continuellement et sa concentration est maintenue pratiquement constante.

Il est clair que, dans ces essais, la dose de chlorure de sodium par kilo de terre sèche n'a pas la même signification que celle qu'elle aurait dans des conditions d'un sol naturel; non seulement le pouvoir de rétention de l'eau par le sol est accru par ce fait que la terre est placée dans un bac, mais encore nous maintenons toujours une infiltration régulière d'un volume d'eau égal presque exactement à 10 % du volume retenu par la terre du bac.

Ainsi, les doses indiquées au tableau sont un moyen de calculer la quantité de chlorure de sodium incorporée; connaissant, d'autre part, la quantité d'eau que contient la terre de bac à sa saturation (par pesée du bac au moment où l'infiltration s'arrête) et l'excès d'eau se trouvant dans la bouteille, graduée d'avance, où est reçu l'infiltration, nous avons la possibilité de calculer la concentration de la solution du sol en chlorures pour chaque instant de l'expérience.

La date de la récolte peut être variable. Certaines plantes ne supportent pas les plus fortes doses essayées, et leur récolte se fait aussitôt que la mort est indiscutablement constatée. Normalement, nous cherchons à obtenir le développement complet de la plante : maturité et fructification achevées. Plus rarement, nous nous contentons de la matu-

rité « commerciale », par exemple, lorsqu'une tomate ou un poivron sont bons à être récoltés pour la consommation. Exceptionnellement, nous sommes obligé de liquider une expérience qui devient trop longue à un moment arbitraire, mais toujours au moins six ou huit semaines après l'incorporation des chlorures.

A la récolte, le but est d'obtenir une courbe de rendement qui montre comment la plante réagit aux doses croissantes de chlorures.

La faible teneur en chlorures des grains de blé, constatée par nous antérieurement (4) nous a incité à faire quelques dosages des chlorures comme on le verra plus bas.

II. — MATÉRIEL ACTUEL

Nous disposons actuellement de deux sortes de bacs : des bacs filtrants en tôle galvanisée de 24 cm $\times$ 24 cm $\times$ 24 cm, ayant un volume de 14 litres environ et pouvant contenir 12-14 kg de terre sèche, au nombre de 30; des « microcases » en ciment, plus volumineuses, de 36 cm $\times$ 36 cm $\times$ 45 cm de hauteur, ayant un volume approximatif de 57 litres, dont 52 peuvent être occupés par la terre (il faut laisser un bord suffisant pour faciliter les arrosages); ces microcases font un seul bloc de deux rangées de neuf, soit 18 microcases au total; elles sont destinées aux essais avec des plantes relativement grandes, telles que les choux, les betteraves, les aubergines, etc...

Les bacs filtrants conviennent pour les plantes de faibles dimensions (blé et autres céréales semblables, lin, colza, etc...) et ont l'avantage de se prêter à chaque instant au contrôle des arrosages par pesée.

Les microcases ne peuvent pas être pesées, et le contrôle des arrosages se fait par l'apparition des infiltrations, mais ce contrôle est aussi précis que le précédent, il faut seulement noter chaque jour l'importance de l'infiltration de la veille et la quantité d'eau nouvelle ajoutée.

III. — RÉSULTATS OBTENUS.

1. *Observations sommaires sur la réaction des plantes immédiatement après l'application des chlorures.*

La réaction est très variable, suivant les espèces. Le piment laisse tomber ses feuilles, en commençant par les inférieures. Les feuilles inférieures du millet prennent l'aspect ébouillanté, les feuilles moyennes ont les extrémités seules des limbes noircies, les feuilles supérieures peuvent rester indemnes. Les feuilles du maïs jaunissent d'abord et sèchent par la suite. Le sorgho n'a donné lieu à aucune observation.

Si la dose de chlorures est mortelle, les feuilles meurent vite, mais la tige peut rester plusieurs jours verte et vivante; la mort arrive très

lentement, et l'observation de l'instant où elle se produit manque de précision et d'intérêt.

Par contre, on voit nettement que la croissance des plantes est arrêtée par une dose suffisante de chlorures; la plante peut avoir un aspect normal, mais elle est comme paralysée : elle n'augmente pas de taille et ne fructifie pas (ou fructifie à peine).

2. *Importance des pesées des récoltes et de la détermination des chlorures dans les différentes parties de la plante.*

Il est indiscutable que le résultat le plus saisissable, le plus démonstratif et le plus certain est donné par la pesée des récoltes. Cependant, la régularité des chiffres obtenus laisse parfois à désirer, soit à cause de l'impureté de la variété, soit à cause des fourmis qui envahissent la terre (cas de notre aubergine), soit à cause de la légère inégalité de la température du sol ou de l'éclairage des bacs, soit pour d'autres raisons, inconnues.

Les résultats des dosages des chlorures dans la plante donnent des chiffres plus réguliers que les rendements, quoique quelques irrégularités s'observent tout de même, imputables surtout à la difficulté de constituer un échantillon moyen de la plante.

Les rendements obtenus sont indiqués dans le tableau 1. Ils sont présentés graphiquement sur les figures 1 et 2.

Les dosages des chlorures sont réunis dans le tableau 2. Ils sont également présentés sur les figures 1 et 2.

TABLEAU 1.

*Rendement des plantes cultivées
en présence des doses croissantes de chlorure de sodium, en grammes.
Été 1946.*

SÉ- RIE n°	PLANTE	SÉ- CHÉE à l'	LE SEL est mis le	FORMULE NaCl (g/Kg de terre sèche)	1 0	2 1	3 2	4 3,5	5 5	6 6,5
<i>Dans les bacs filtrants.</i>										
1	Millet.	air	21 mai	R. T. (1) grain	43,90	36,60	25,80	29,30	11,34	(9,60) 2
2	Piment tunisien. . .	étuve	10 juin	R. T. fruits	48,09	39,75	26,83	28,36	10,07	(6,89)
3	Haricot Tepary . . .	air	22 mai	R. T. grain	26,35	17,85	5,45	(3,90)	(4,75)	(4,80)
4	Maïs de Bizerte. . . .	étuve	28 mai	R. T. fruits	120,9	97,9	79,2	55,8	(9,2)	(13,5)
5	Sorgho de Soudan. .	étuve	10 juin	tiges et feuilles grain	75,8	91,3	57,9	57,9	44, 2	
					détruit en partie par les moineaux.					
<i>Dans les microcasses.</i>										
				NaCl (g/kg de terre sèche)	0	0,5	1	2	3	4
1	Aubergine	étuve	19 et 25 juill.	R. T. fruits	166,7	112,4	152,2	118,3	109,0	56,9
2	Poivron.	étuve	19 et 26 juill.	R. T. fruits	112,1	117,3	129,3	57,0	16,7	(3,8)
3	Tomate.	étuve	19-22 et 27 juin	R. T. fruits	142,0	114,2	96,3	103,5	71,7	101,7
					74,6	60,5	41,5	59,5	31,3	42,4
(1) R. T. : Récolte totale (tiges + feuilles + graines).										
(2) Les parenthèses indiquent que les plantes sont mortes, donc que leur résistance aux chlorures est dépassée.										

TABLEAU 2.

Teneur centésimale en NaCl des différentes parties des plantes cultivées en présence des doses croissantes de chlorure de sodium.

FORMULE		1	2	3	4	5	6
<i>Dans les bacs filtrants.</i>							
Millet	: feuilles et tiges. .	3,08	5,91	8,52	10,00	13,18	(15,35)
—	grains.	0,10	0,17	0,26	0,64	0,87	
Piment	: feuilles et tiges. .	0,72	2,63	8,34	8,90	15,75	(14,95)
—	fruits.	0,88	1,17	3,25	4,40	6,01	
Haricot	: feuilles et tiges. .	0,78	4,61	9,05	(16,87)	(20,00)	(26,10)
—	graines.	0,94	1,27	1,61			
Maïs	: feuilles et tiges. .	0,80	1,77	3,07	8,98	(11,53)	(16,58)
—	fruits.	0,34	0,15	0,23	0,73		
Sorgho	: feuilles et tiges. .	1,02	2,04		4,70	9,86	
—	grains.	0,07	0,19	0,58	0,83	1,15	
<i>Dans les microcases.</i>							
Aubergine	: feuilles et tiges. .	2,13	3,92	4,22	5,54	5,93	10,35
—	fruits.	1,41	1,84	1,56	1,70	1,72	2,96
Poivron	: feuilles et tiges. .	1,73	2,26	2,72	7,08	11,90	(24,97)
—	fruits.	0,36	0,78	1,02	1,20	3,20	
Tomate	: feuilles et tiges. .	2,84	3,39	5,20	6,17	7,20	9,31
—	fruits.	1,24	1,53	1,71	1,79	1,91	2,28

3. Remarque sur l'irrégularité des données obtenues.

Avant de commencer l'étude des données en vue d'en tirer des conclusions, il faut s'arrêter sur une certaine irrégularité des chiffres. Les expériences dans les bacs filtrants font remarquer que le quatrième bac a presque toujours donné des récoltes plus grandes que l'on ne devait en attendre; ceci est dû, dans chaque série, à la position du bac n° 4 qui occupe la position la plus chaude et la plus ensoleillée. On est obligé d'en tenir compte en établissant les courbes de rendement. Ceci montre que l'action nocive des chlorures est diminuée dans le cas d'un bon éclairage et d'une bonne exposition (chaude), comme l'avait déjà signalé CHAPMAN (1).

Dans les microcases, les résultats obtenus sont, en général, moins bons que dans les bacs filtrants. L'emploi de plantes plus grandes en fait diminuer le nombre par récipient et l'influence de la plante, surtout si elle est à fécondation croisée, augmente la fluctuation des rendements. De plus, il y avait une importante invasion de fourmis dans les microcases d'aubergine, et la tomate était touchée par l'oïdium. Enfin, les côtés des microcases n'étaient pas protégés de l'échauffement par le soleil, et les formules impaires bénéficiaient d'une exposition plus chaude. Toutes ces causes diminuent la valeur des données obtenues cette pre-

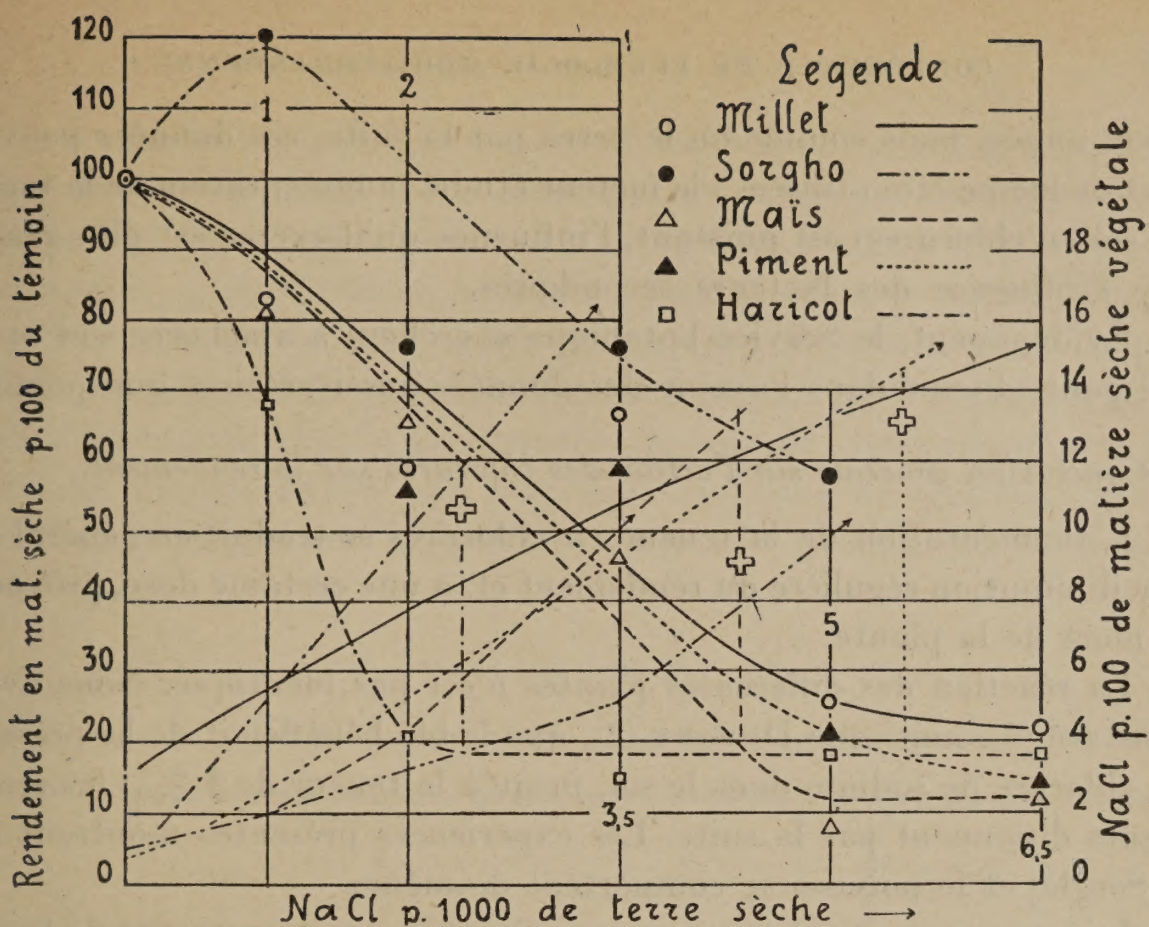


Fig. 1. — Présentation graphique des résultats des essais avec les chlorures dans les bacs filtrants. — Courbes de rendement étudiées-descendantes, échelle droite. — Teneur des tiges et feuilles sèches en chlorures-montantes, échelle droite.

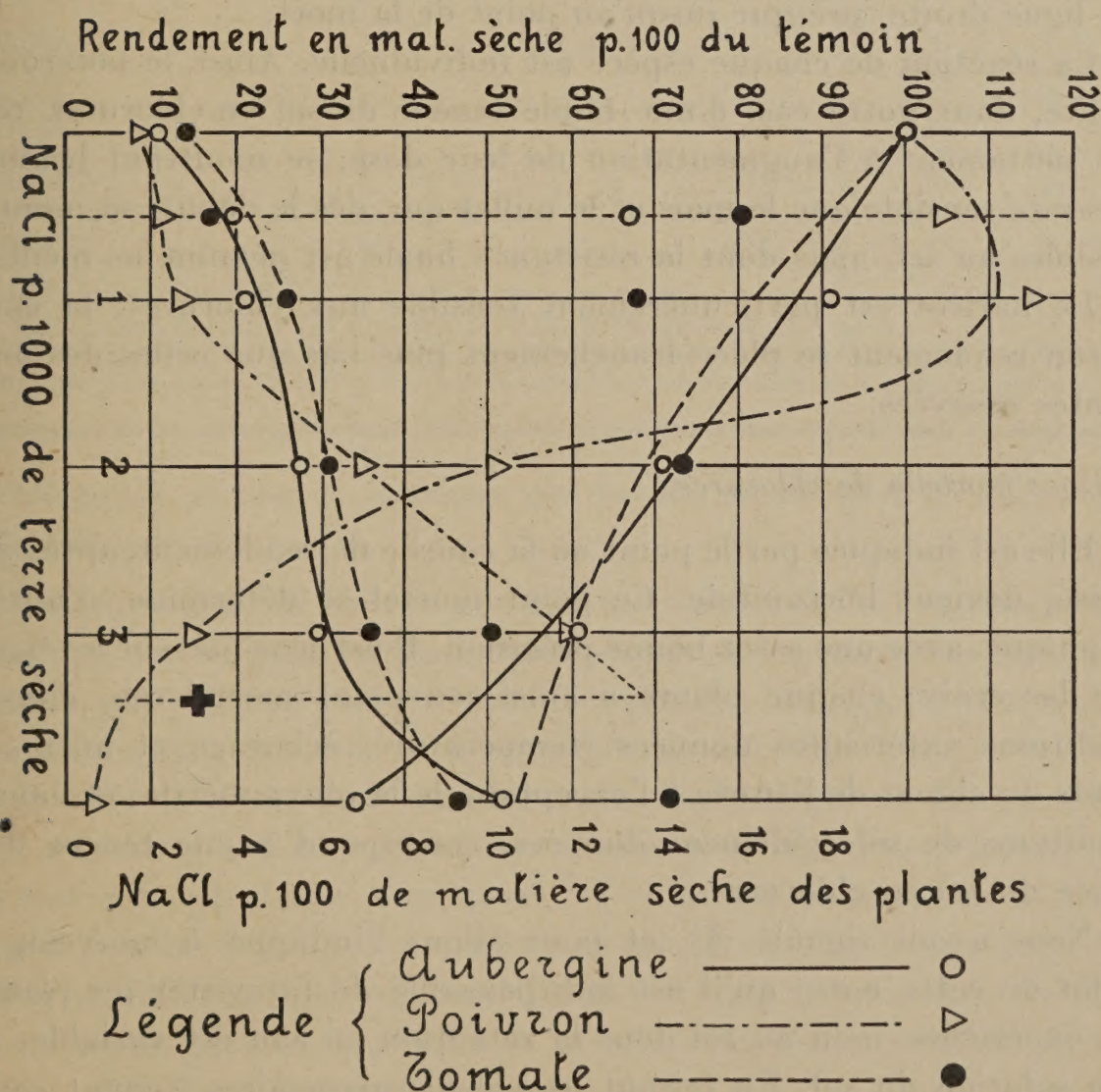


Fig. 2. — Présentation graphique des résultats des essais avec les chlorures dans les microcases.

mière année, mais comme on le verra par la suite, ces données peuvent tout de même être utilisées : le facteur étudié (augmentation de la teneur du sol en chlorures) est puissant, l'influence qu'il exerce est plus grande que l'influence des facteurs secondaires.

Évidemment, le Service botanique cherchera à améliorer son matériel pour obtenir dans l'avenir des données aussi précises que possible.

4. *Conclusion générale sur l'action des chlorures sur le rendement.*

L'augmentation de la teneur en chlorures se traduit en général par une diminution régulière du rendement et, à une certaine dose, provoque la mort de la plante.

La réaction des différentes plantes n'est pas identique. Nous avons constaté (4), ainsi que DUPONT (2), que le blé bénéficiait de la présence du chlorure de sodium dans le sol, jusqu'à la teneur de 1 ‰; les rendements diminuent par la suite. Les expériences présentes montrent que le Sorgho et le poivron se comportent de même.

Les autres plantes essayées ne profitent pas apparemment de la présence des chlorures. Le rendement paraît baisser aussitôt qu'une faible quantité de sel est introduite, mais la baisse de rendement est d'abord faible, puis elle devient régulière (la courbe se confond presque avec une ligne droite) presque jusqu'au point de la mort.

La réaction de chaque espèce est individuelle. Ainsi, le poivron qui profite, dans notre cas, d'une faible teneur du sol en chlorures, réagit très nettement à l'augmentation de leur dose, se montrant beaucoup plus vite sensible que le maïs et le millet qui, dès le début, se montrent sensibles au sel, mais dont la résistance finale est néanmoins meilleure.

Le haricot est particulièrement sensible aux chlorures; la courbe de son rendement se place franchement plus bas que celles des autres plantes essayées.

5. *Dose mortelle de chlorures.*

Elle est indiquée par le point où la courbe de rendement, après avoir baissé, devient horizontale. Ce point mortel se détermine, d'après le graphique, avec une assez bonne précision. Il est marqué, sur les figures, par des croix; chaque plante a ainsi son point mortel qui, dans des conditions extérieures données (température, éclairage et autres éléments du climat de l'année à l'exception de la pluviométrie) et dans des conditions de sol également données, correspond à une teneur déterminée du sol en chlorures.

Nous avons signalé (4) (et nous allons l'indiquer à nouveau vers la fin de cette note) qu'il est indispensable de rapporter les résultats des expériences non au sol dont la rétention en eau est variable, mais à la solution du sol. En faisant les calculs nécessaires (tenant compte

de la teneur initiale du sol employé en chlorures, de la teneur en chlorures de l'eau de pluie qui a servi aux arrosages, de la pureté du sel employé, et du volume d'eau retenu par la terre des bacs filtrants ou des microcases), nous obtenons les données réunies dans le tableau 3.

Elles montrent que la concentration des chlorures dans la solution de sol devient mortelle pour les différentes plantes à des degrés variables, le haricot se montrant le plus sensible, le poivron, assez sensible, la plupart des plantes ayant une résistance moyenne et certaines plantes étant particulièrement résistantes (sorgho et probablement tomate).

TABLEAU 3.
Doses mortelles de chlorure de sodium.

PLANTES	DANS LA PLANTE			DANS le sol (2)	DANS la solution du sol
	NaCl % de matières végétale (1)			en grammes par kilo de t. sèche	en grammes par litre
	Humide (vivante)	Séchée à l'air libre	Séchée à l'étuve à 100°C		
Haricot.		12,0		2,35	5,6
Maïs.			13,0	4,15	10,2
Piment.			14,5	5,15	12,9
Millet.		14,0		5,15	12,9
Sorgho.			> 11	5,40	13,5 env.
Poivron.	1,80		13,70	3,35	9,0
Aubergine.	1,90		12	4,50	11,5
Tomate.			> 10	5,60	14 env.

(1) La dose mortelle est déterminée d'après les graphiques 1 et 2.

(2) Dans les conditions de l'expérience, arrosée surabondamment, c'est une donnée auxiliaire qui n'est qu'un moyen de trouver la concentration mortelle de la solution en chlorures.

6. *Constance relative de la teneur des feuilles et des tiges en chlorures au point mortel.*

En examinant la teneur des plantes séchées à l'étuve en chlorures présentée sur les graphiques, on remarque un fait aussi curieux qu'important : le point mortel de toutes les plantes correspond à une teneur déterminée, peu variable, oscillant entre 12 et 15 %.

Il suffirait donc, pour se prononcer sur le degré de la toxicité des chlorures d'un milieu inconnu sur une espèce végétale quelconque, de prélever une plante et d'en doser les chlorures pour savoir si l'on se trouve près ou loin de son point mortel. En effet, la constante de la teneur mortelle de l'ensemble des feuilles et tiges séchées étant de 13,5% en moyenne, plus la teneur de la plante analysée est voisine de cette valeur, plus elle est près de la mort.

Il est évident qu’une étude plus poussée sur la répartition des chlorures dans les différentes parties des plantes est indispensable avant de formuler des règles définitives pour un tel diagnostic foliaire, qui semble devoir être facilement utilisable.

7. *Comment les plantes empêchent les chlorures de s’accumuler dans leurs tissus.*

D’autre part, si la résistance de toutes les plantes cesse à une teneur de leurs tissus en chlorures identique, nous avons vu (tableau 3) que la concentration de la solution de sol en chlorures pour les mêmes plantes est variable; il devient donc évident que la résistance des plantes aux chlorures est déterminée par leur aptitude inégale à empêcher l’accumulation des chlorures de se produire dans leurs tissus.

Les chlorures vont du sol vers la plante avec la solution du sol admise par suite du phénomène de la transpiration. Un calcul facile montre (tableau 4) que, dans l’exemple du millet, les chlorures trouvés dans les plantes ne présentent qu’une faible partie de la quantité qui correspond à l’eau transpirée. Il faut admettre que, une fois que la sève de la plante devient suffisamment concentrée en chlorures, l’eau seule est prise dans le sol, et que les chlorures sont repoussés par la tension élevée préexistante de la sève; ou que les chlorures qui se sont accumulés dans la plante pendant une journée de transpiration diffusent de la plante vers le sol pendant la nuit suivante. Le plus probable est que ces deux phénomènes se produisent.

Le tableau 4 indique le calcul fait pour vérifier la première hypothèse (nous avons supposé que 67 % d’eau d’arrosage est utilisée pour la transpiration) et la deuxième; la deuxième est vérifiée pour le cas d’une plante âgée, contenant 40 % de matière sèche et 60 % de sève.

TABLEAU 4.

Calcul des quantités de NaCl qui devraient se trouver dans les récoltes du millet suivant deux hypothèses différentes.

Partie commune aux deux hypothèses.

NaCl MIS EN ŒUVRE (EN GRAMMES)	FORMULE			
	1	2	3	4
NaCl primitivement contenu dans 12 kg 36 de terre sèche du bac.	0,62	0,62	0,62	0,62
NaCl apporté avec l’eau d’arrosage	0,55	0,52	0,46	0,45
NaCl incorporé le 21 mai	0	12,02	24,04	42,07
NaCl total du bac.	1,17	13,16	25,12	43,14

Première hypothèse : le chlorure de sodium entre dans la plante avec l'eau absorbée par celle-ci pour la transpiration et reste dans la plante. En admettant que les deux tiers de l'eau d'arrosage ont servi pour la transpiration, on devrait trouver dans les plantes (en gr) :

	FORMULE			
	1	2	3	4
NaCl qui devrait être trouvé	0,78	8,77	16,75	28,76
NaCl effectivement trouvé dans la récolte totale. . . .	0,60	0,96	1,13	1,60
Pourcentage de NaCl effectivement trouvé dans la récolte.	77,00	10,9	6,8	5,6

Deuxième hypothèse : diffusion complète entre le sol et la plante. La quantité de « solution du sol » de tous les bacs est de 5,3 litres.

	FORMULE			
	1	2	3	4
Concentration de NaCl en grammes par l.	0,23	2,53	4,82	8,30
Volume de la sève de la plante en cm³	66	54	39	44
Quantité de NaCl que ce volume devrait contenir, en grammes	0,015	0,14	0,19	0,36
Rapport : $\frac{\text{NaCl dosé}}{\text{NaCl calculé}}$	40,0	6,9	6,0	4,4

Le taux de chlorures de la plante se trouve situé entre ceux prévus par ces deux possibilités hypothétiques et ne permet d'exclure ni l'une, ni l'autre.

8. *Limite pratique de la résistance des plantes aux chlorures.*

Jusqu'ici, nous restions toujours sur le point qui correspond à la limite absolue de la résistance des plantes aux chlorures. Il faut penser à la limite pratique qui pourrait seule intéresser l'agriculteur ou le maraîcher. Le cultivateur doit avoir des rendements suffisants pour que la culture reste payante. Nous prendrons arbitrairement pour cette limite l'ordonnée de 80 % du rendement du témoin, parce que l'on peut penser qu'à ce point les erreurs de l'expérience sont dépassées et le rendement s'abaisse réellement.

Or, c'est surtout dans cette partie que les écarts entre les courbes de rendement deviennent importants, comme les graphiques le montrent. Le point d'intersection de la courbe de rendement avec l'ordonnée de 80 % correspond à une teneur du sol en chlorures que nous relevons dans le tableau 5; d'après cette teneur, connaissant la quantité d'eau retenue dans la terre et l'excès d'eau maintenu à peu près constant

nous avons calculé la teneur correspondante de la solution de sol en chlorures, que nous présentons également dans le tableau 5.

TABLEAU 5.

Limite pratique de la résistance des plantes aux chlorures.

PLANTES	NaCl ‰ de terre sèche (1)	NaCl par litre de solution du sol (en gr.)
Haricot	0,75	2,5
Maïs	1,40	4,1
Piment	1,45	4,3
Aubergine	1,50	4,5
Millet	1,55	4,7
Poivron	1,70	4,9
Sorgho	2,90	7,7

(1) Ces chiffres sont déterminés d'après les graphiques et correspondent aux conditions spéciales d'arrosages nécessitées par notre technique expérimentale; ils n'ont aucune valeur pratique directe et servent simplement pour calculer les données de la colonne droite, qui, elles, sont utilisables.

Cette donnée peut être prise, sans erreur appréciable, pour limite pratique de la résistance des plantes aux chlorures.

Il nous reste à rappeler (4) que la concentration de la solution de sol seule est une donnée précise et susceptible d'être utilisée pour l'interprétation des cas particuliers rencontrés dans la pratique. En effet, la concentration qu'il ne faut pas dépasser dans la pratique (indiquée dans le tableau 5) doit être rapportée au point de flétrissement de la terre donnée; suivant que la terre est plus ou moins argileuse, son point de flétrissement correspond à une teneur en eau fort variable, comme nous allons le montrer sur deux exemples :

	TERRE argilo-calcaire du Service Botanique	SABLE de la Soukra
Teneur de la terre en argile	40 %	0 %
Humidité correspondant à la saturation de la terre en eau	30 %	5 %
Humidité correspondant au point de flétrissement.	12 %	0,5 %

Au point de flétrissement, 1 m³ de terre contiendra, au Service Botanique, environ 130 litres d'eau, tandis qu'à la Soukra il n'en contiendra que 6 litres environ; la tolérance aux chlorures du premier sol sera

environ vingt fois supérieure à celle du second. Pour la limite pratique moyenne de 4 gr de NaCl par litre de solution de sol, on doit se rappeler que ce litre correspond à :

$$\frac{1100}{130} = 8,5 \text{ kg de terre sèche du Service Botanique et à } \frac{1200}{6} = 200 \text{ kg}$$

de sable de la Soukra.

La tolérance aux chlorures devient 4 gr : 8,5 = 0,47 gr de NaCl pour le Service Botanique et 4 gr. : 200 = 0,02 gr de NaCl pour le sable de la Soukra.

IV. — ORIENTATION DE NOS RECHERCHES DANS L'AVENIR.

Aussi imparfaites que soient ces premières recherches, elles montrent néanmoins que les différentes espèces, probablement même les variétés de la même espèce, donnent des courbes de rendement différentes. Il n'y a pas de règle générale, applicable d'avance à toutes les plantes, et la première question à étudier est celle du comportement spécifique des plantes vis-à-vis des chlorures. Nous tâcherons d'obtenir le plus grand nombre de courbes de rendement.

La teneur des différentes parties d'une plante donnée en chlorures est également une question importante à connaître, aussi bien du point de vue de la connaissance générale que du point de vue utilitaire, parce qu'en possession de ces données, on pourra appliquer à la pratique, et même à la recherche, la méthode du diagnostic foliaire qui, dans le cas des chlorures, paraît être simple et facile.

Enfin, pour préciser le phénomène d'élimination des chlorures de la plante vers le sol qui est constaté mais qui reste à expliquer, nous nous proposons de déterminer la teneur des plantes (ou de celles de leurs parties qui nous paraissent convenir le mieux) en chlorures le matin et le soir. S'il y a élimination des chlorures de la plante vers le sol, on doit trouver, entre ces deux déterminations, des différences très appréciables, et la question sera éclaircie.

Bibliographie.

1. CHAPMAN (H.-D.). — Mineral nutrition of plants (*Annual Review of Biochemistry*, vol. 14, p. 709-732, 1945).
2. DUPONT (C.). — Action exercée par les chlorures alcalins sur les plantes et sur le sol (*Ann. de la Sc. agron. franç. et étrang.*, p. 369-391, 1924).
3. MAUME (L.) et DULAC (J.). — Le problème de la toxicité et de l'antagonisme en physiologie végétale (*Ann. de la Sc. agron. franç. et étrang.*, p. 400-443, 1929).
4. YANKOVITCH (L.). — Recherches d'une méthode d'étude de la résistance des plantes aux chlorures (*Ann. du Serv. Bot. et Agron. de Tunisie*, vol. 19, p. 163-178, 1946).

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DE L'HUMIDITÉ DES SOLS DU MAROC

Par Georges GRILLOT,

Directeur du Centre de Recherches Agronomiques de Rabat.

et Georges BRYSSINE,

Chef de la Section d'Étude des Sols du Centre de Recherches Agronomiques de Rabat.

En Afrique du Nord, l'agriculteur connaît deux préoccupations très importantes : l'eau et l'humus.

La pénurie de l'eau dans le sol est pour la prospérité de ses cultures le facteur limitant essentiel. La sécheresse persistante qui sévit durant la saison chaude, de mai à octobre, et l'irrégularité des précipitations pendant la saison humide et relativement fraîche qui s'étend d'octobre à mai le contraignent, soit à apporter par l'irrigation l'eau qui fait défaut, soit à l'emploi de techniques propres, dans son esprit, à emmagasiner le plus d'eau possible dans ses terres afin que sa culture y bénéficie, croit-il, non seulement des précipitations qu'elle reçoit, mais aussi grâce à la jachère travaillée, des pluies de la campagne précédente. C'est là un dogme encore solidement établi chez la plupart des colons nord-africains.

D'autre part, la pauvreté habituelle des terres en humus, la culture intensive, la diminution de matière organique due à l'absence de végétation au cours de l'année de jachère travaillée nue, la pénurie de fumier qu'entraîne l'assolement biennal jachère travaillée-blé qui supprime l'élevage, ne peuvent que conduire plus ou moins rapidement à la détérioration des terres, à l'abaissement de leur fertilité naturelle.

C'est pourquoi l'enfouissement d'engrais verts au cours de l'année de jachère est considéré comme un adjuvant recommandable, mais beaucoup plus souvent recommandé qu'appliqué.

Or, en ce qui concerne l'action de la jachère travaillée, BŒUF et NOVIKOFF, après avoir effectué de 1933 à 1935 des essais en cases lysimétriques, ont démontré que :

1^o La jachère travaillée nue accroît au total, au cours des deux années de l'assolement biennal, la quantité d'eau drainée en hiver et au printemps vers la profondeur, c'est-à-dire vers la nappe phréatique car, disent les auteurs, il est probable que peu de cette eau remonte vers la surface;

2^o Au printemps, toutes les cultures — quelle qu'ait été la sole

précédente — ont asséché à peu près également le sol; seule, la jachère travaillée nue conserve remarquablement l'humidité pendant le printemps et l'été, autrement dit jusqu'à l'automne qui suit, c'est-à-dire jusqu'aux semailles de blé.

3^o La différence de teneur en eau, constatée ainsi au début de l'automne entre la jachère et les parcelles ensemencées s'efface pendant l'hiver et le printemps suivants, c'est-à-dire pour la culture suivante.

D'autre part, DE CILLIS, en 1927, s'est élevé avec virulence contre l'emploi des engrais verts sous climat aride et chaud, à cause de la mauvaise économie du système et de l'énorme perte d'eau soustraite au sol par cette pratique, perte qu'il évaluait par le raisonnement et le calcul à 3.000 tonnes par hectare.

Partant donc :

1^o du fait établi par BŒUF et NOVIKOFF que l'efficacité, reconnue par les praticiens, de la jachère travaillée ne résulte pas d'un stock hivernal d'eau plus important mis par cette technique à la disposition de la culture suivante, mais plus probablement du maintien estival et automnal de l'humidité dans le sol en jachère, jusqu'aux semailles de blé;

2^o de l'intérêt que l'enfouissement d'engrais verts peut présenter pour la terre et les cultures si l'on prend soin d'éviter l'assèchement printanier et estival de la terre en coupant de bonne heure la plante à enfouir aussitôt;

3^o de l'éventualité d'effets possibles différents de cette pratique suivant la nature des différentes terres du Maroc. Nous avons voulu étudier, dans des terres soumises à la rotation biennale jachère travaillée-blé, quelle serait l'évolution des divers types de sols du Maroc, et en particulier celle de leur humidité, suivant que ces terres sont traitées durant l'année de jachère, soit en jachère nue travaillée, soit en jachère travaillée supportant tout d'abord une plante enfouie comme engrais vert.

Le projet de travail que nous avons tout d'abord établi, en 1942, prévoyait l'étude des modifications physico-chimiques des sols et celle de la valeur agricole respective des deux méthodes de cultures mises en comparaison, mais les événements nous ont empêché de le réaliser. C'est seulement à partir de la campagne 1944-1945 que nous avons pu doser périodiquement l'humidité des sols et mesurer les eaux de percolation. L'étude des autres questions n'a pu être effectuée.

Nos observations ont été faites à Rabat au cours des campagnes 1944-1945 et 1945-1946 en cases lysimétriques cubiques de 1 m³.

Nous disposions à cet effet de 12 cases réparties en trois séries correspondant à trois catégories très différentes de sols : « Tirs », « Hamri » et « Rmel » reconstitués selon leurs horizons successifs naturels.

SOLS

Tirs. — On donne au Maroc le nom de tirs à différents sols noirs qui souvent n'ont aucune parenté génétique entre eux. Celui qui nous a servi pour nos expériences est un sol formé dans des conditions marécageuses. Il est à peu près complètement dépourvu de calcaire.

C'est une terre argileuse, noirâtre, lourde; sa structure est motteuse à la partie supérieure, colonnaire prismatique à la partie inférieure; l'horizon le plus profond est gleyeux.

Hamri. — On donne le nom de hamri aux divers sols rouges, quelle que soit leur origine pédologique. Il s'agit ici d'un sol rouge à croûte calcaire, sur calcaire friable (probablement limon quaternaire fortement calcifié).

C'est une terre rouge, calcaire, très argileuse, de plus en plus calcaire vers la profondeur, à structure granuleuse à la partie supérieure (0 à 30 cm) tandis que les horizons sous-jacents qui reposent sur le calcaire encroûté sont, quoique moins argileux et davantage calcaires, plus compacts avec une structure en noisettes prismatiques.

R'mel. — Les R'mels sont des sols sableux de couleur rosâtre. Aux environs de Rabat, ils ont l'aspect de sols podsolisés.

Notre R'mel est dans ses horizons supérieurs une terre légère, grisâtre en haut, rosâtre en bas, non structurée (c'est-à-dire structure granulaire simple); ses horizons inférieurs sont argileux (30 %), sableux, jaunes en haut, rouges en bas.

L'analyse mécanique des sols étudiés a été faite d'après la méthode internationale; la capacité de rétention a été déterminée pour chaque horizon par la méthode de Bouyoucos et le coefficient de flétrissement a été calculé d'après la formule : $\text{Humidité équivalente} / 1,84 = \text{coefficient de flétrissement}$.

Les caractères physiques ont été déterminés dans chaque case et pour chaque horizon; le tableau ci-dessous résume schématiquement les résultats d'analyse.

NATURE du sol		ARGILE °/°	LIMON °/°	SABLE fin %	SABLE grossier 1%	CALCAIRE °/°	HUMUS °/°
Tirs.		44 à 50	31 à 23	18 à 24	3 à 5,5	0	1,5
Hamri.		50 à 60	7 à 11	18 à 9	4 à 0,2	8 à 35	0,5
		13 au-dessous de 60 cm		2 au-dessous de 60 cm		— 77 au fond	
R'MEL	Horizons supérieurs sableux.	5 à 6	2 à 4	70 à 65	22-23	0	1,3-0,6
	Horizons inférieurs argileux.	44	7,4	39	9	0	n. d.

La capacité de rétention et le coefficient de flétrissement se trouvent indiqués, pour chaque case et chaque horizon, par les courbes correspondantes des graphiques. Les propriétés hydriques sont, dans l'ensemble et en moyenne les suivantes :

PROPRIÉTÉS hydriques	TIRS	HAMRI	R'MEL
Capacité de rétention. % terre sèche.	Bouyoucos : 31 à 33 Observé : 25	22	Horizon supérieur sableux 7-8
			Horizon inférieur argileux 28
Coefficient de flétris- sment. % terre sèche.	17-19	12	Horizon supérieur sableux 4
			Horizon inférieur argileux 16

Nous signalerons incidemment que, dans le tirs la capacité de rétention (31 à 33 %) déterminée par la méthode de Bouyoucos apparaît supérieure à l'humidité de la terre (25—27 %) dosée pendant les périodes de percolations. Dans le hamri et le r'mel, on n'observe pas de différence. Dans nos graphiques nous avons admis pour la capacité de rétention du tirs l'humidité de 25 % et pour coefficient de flétrissement 15 %.

En outre, la capacité de rétention du tirs, sol argilo-limoneux assez riche en humus, est supérieure à celle du hamri, sol ici beaucoup plus argileux, mais calcaire et pauvre en humus. Il faut attribuer ce fait, à notre avis, d'une part, à la nature des colloïdes et, d'autre part, à l'état structural des sols.

CLIMAT

Rabat, où nous avons opéré, est sur la côte Atlantique du Maroc.

La pluviométrie annuelle moyenne est relativement élevée : 506 mm. Elle est répartie sur neuf mois de l'année, en général de septembre à mai, dont six mois vraiment humides (indice d'aridité de Martonne supérieur à 20), de novembre à avril.

L'humidité relative de l'air est élevée (79,6 %) plus forte en hiver qu'en été mais elle croît régulièrement au cours de l'été; le mois le moins humide est le mois de mai.

La moyenne annuelle des températures y est relativement peu élevée pour le Maroc (17°4) ce qui est dû à la situation atlantique de la station. La région reçoit en moyenne au cours de l'année 6.353° (somme des températures) et seulement 2.544° au cours de mois humides.

Les amplitudes annuelles et mensuelles des moyennes des maxima et minima sont faibles et oscillent autour de 11°.

On peut considérer le climat de Rabat, d'après l'indice d'aridité de DE MARTONNE, comme demi-aride. En réalité, cet indice varie énormément et il atteint des valeurs relativement élevées au cours de la saison pluvieuse, surtout aux mois de novembre et de mars. En cette saison le climat est franchement humide. Du point de vue pédologique, il correspond à celui de la zone des sols bruns même légèrement podzolisés.

La campagne agricole (du 1^{er} septembre au 31 août) 1943-1944 qui précéda nos observations fut une année de pluviométrie moyenne : 520 mm 5.

L'année 1944-1945 fut particulièrement remarquable à cause de sa pluviométrie extraordinairement faible : 252,5 (contre 506 en moyenne). Au début de l'année agricole, la pluviométrie fut normale, mais les pluies cessèrent au mois de janvier. Il n'y eut donc que deux mois humides : novembre et décembre. Toutefois, l'humidité de l'air a été assez grande : 80,7 %, surtout au printemps et en été, malgré la faible pluviométrie.

En 1945-1946, le total des précipitations (497 mm 8) a été voisin de la moyenne, et les pluies ont été bien réparties au cours de l'hiver, mais elles se prolongèrent ensuite anormalement jusqu'au mois de juin, après une période de sécheresse en mars-avril. L'humidité relative de l'air fut élevée, surtout au cours de l'été.

OPÉRATIONS AGRICOLES.

Les cases cultivées en assolement biennal, jachère travaillée-blé, furent utilisées comme il est indiqué sur les graphiques.

En 1943-1944, le pois avait été employé comme engrais vert, mais

à cause de notre projet initial d'étude, et pour éviter l'action enrichissante en azote des nodosités des légumineuses, nous avons pris comme engrais vert le colza, à partir des semailles 1944.

En 1944-1945 le blé fut semé le 5 décembre, moissonné le 14 mai dans le tirs et le hamri, le 23 mai dans le r'mel.

Le colza fut semé du 13 au 16 décembre, coupé et enfoui le 10 mars.

En 1945-1946, le blé fut semé le 7 décembre et moissonné le 4 juin; le colza semé le 27 novembre, fut coupé le 4 mars et aussitôt enfoui.

La jachère, au cours des deux campagnes, a subi les travaux habituels : déchaumage, labour d'hiver, recroisement de printemps et binages d'été; toutefois, dans les cases à engrais vert, le premier labour fut donné à l'automne, avant le semis de colza, et le recroisement servit à l'enfouissement de ce dernier.

L'extraordinaire sécheresse de la campagne 1944-1945 qui aboutit à l'anéantissement presque total de toutes les récoltes de grains de l'année, et qui exposa les jachères à un régime climatique anormal susceptible d'agir aussi sur les cultures de la campagne suivante modifia sensiblement le sens de nos essais en réduisant la valeur et par conséquent l'intérêt des considérations agricoles relatives aux cultures et à leurs rendements, mais elle nous donna par contre la possibilité d'effectuer sur l'humidité du sol des jachères, des observations, fort intéressantes en raison même de cette sécheresse.

ÉTABLISSEMENT DES GRAPHIQUES.

Les graphiques que nous avons établis donnent tout d'abord, en haut, la courbe des températures moyennes ainsi que la pluviométrie, à gauche les images des profils.

Les dosages d'humidité ont été faits pour chaque case au début de chaque mois (avec prélèvement latéral des échantillons dans les cases), aux profondeurs indiquées sur les graphiques.

Les graphiques indiquent, en abscisses, le temps, c'est-à-dire les dates d'analyses, en ordonnées la profondeur des prélèvements; aux intersections sont inscrits les taux d'humidité observés, rapportés à la terre sèche, après dessiccation de l'échantillon étudié poursuivie jusqu'à poids constant à la température de 105°. D'après ces données, nous connaissons pour chaque case, et chaque mois, la répartition de l'humidité suivant la profondeur, et pour chaque niveau l'évolution de cette humidité suivant la saison. Par interpolation nous avons déterminé les points correspondants, à divers taux d'humidité : 5, 10, 15, 20, 25 et 30 %, ce qui nous a permis de tracer ensuite les courbes d'égale humidité, en fonction du temps et de la profondeur. Les hachures tracées entre ces courbes, et plus ou moins serrées suivant la plus ou moins

grande humidité de la zone considérée, permettent de donner une représentation figurée de la répartition de l'humidité dans les diverses cases, en fonction de la saison et de la profondeur.

Nous avons pu également, et par interpolation, tracer les courbes, très importantes pour les agriculteurs, des taux d'humidité correspondant : l'une, en trait fort et plein, à la capacité de rétention, l'autre, en trait fort et pointillé au coefficient de flétrissement. Ces deux courbes seraient évidemment chacune une ligne d'égale humidité si la terre de chaque case était homogène; mais sauf dans le tirs qui est homogène à ce point de vue, il n'en est pas ainsi du fait que dans chaque case a été reconstitué, aussi bien que possible, le profil initial de la terre étudiée; c'est pourquoi il arrive dans le hamri et le r'mel que ces deux courbes coupent les lignes d'égale humidité.

Les mesures de l'eau de percolation ont été faites journellement. Elles ont permis de construire sous les graphiques ci-dessus décrits, les courbes accumulatives pour chaque période de percolation, chaque courbe étant ramenée à zéro quand l'infiltration devenait nulle ou insignifiante.

OBSERVATIONS

Que se passe-t-il *dans le tirs*?

En 1944-1945, année sèche (250 mm) caractérisée par l'arrêt des pluies en janvier, on voit que dans *toutes les cases*, la capacité de rétention est atteinte puis dépassée dès la fin décembre (sauf, et en partie dans la case 31, blé sur engrais vert). C'est dans la case 30 en blé sur jachère qu'on observe la plus forte humidité hivernale; puis aussitôt la fin des pluies, dès février par conséquent cette année-là, la dessiccation commence; l'humidité baisse rapidement et, dans les cases ensemencées en blé, elle tombe, dès fin mars, et dans toute l'épaisseur de la terre, au-dessous de la capacité de rétention.

Dans la case 25 à colza, où celui-ci a été enfoui le 10 mars, la dessiccation du fond de la case est moins rapide, et dans la jachère nue travaillée (case 22) elle est encore plus lente puisqu'elle s'y prolonge jusqu'en juillet.

La dessiccation se poursuit d'ailleurs et l'humidité tombe dès fin avril au-dessous du coefficient de flétrissement dans la case 31 de blé sur engrais vert (pois), tandis que dans la case 30 de blé sur jachère l'humidité des couches profondes reste supérieure à ce taux durant tout l'été.

Par contre, dans les cases en jachère (22 sans engrais vert, et 25 avec enfouissement de colza) seules les couches superficielles sont très desséchées au printemps et en été, tandis que les couches moyennes ou profondes restent humides jusqu'à l'automne.

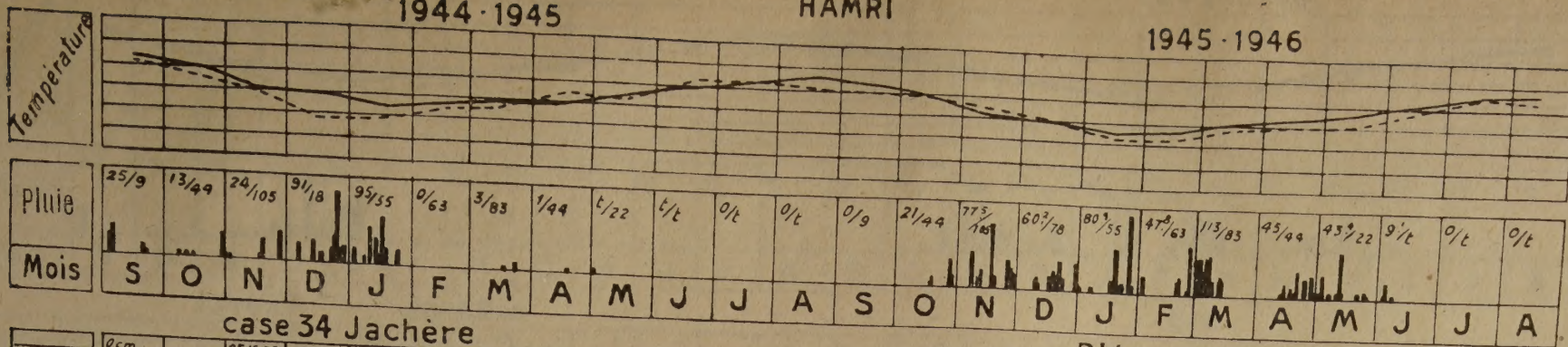
Il est d'ailleurs facile de voir, à l'entrée des graphiques, qu'il en était

HUMIDITÉ DES CASES

1944-1945

HAMRI

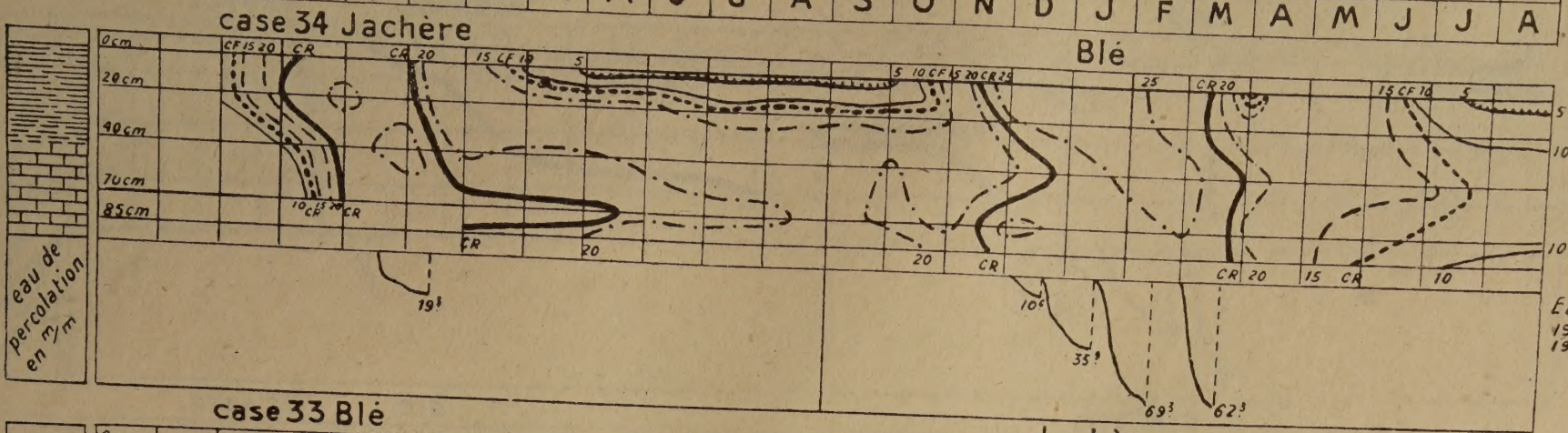
1945-1946



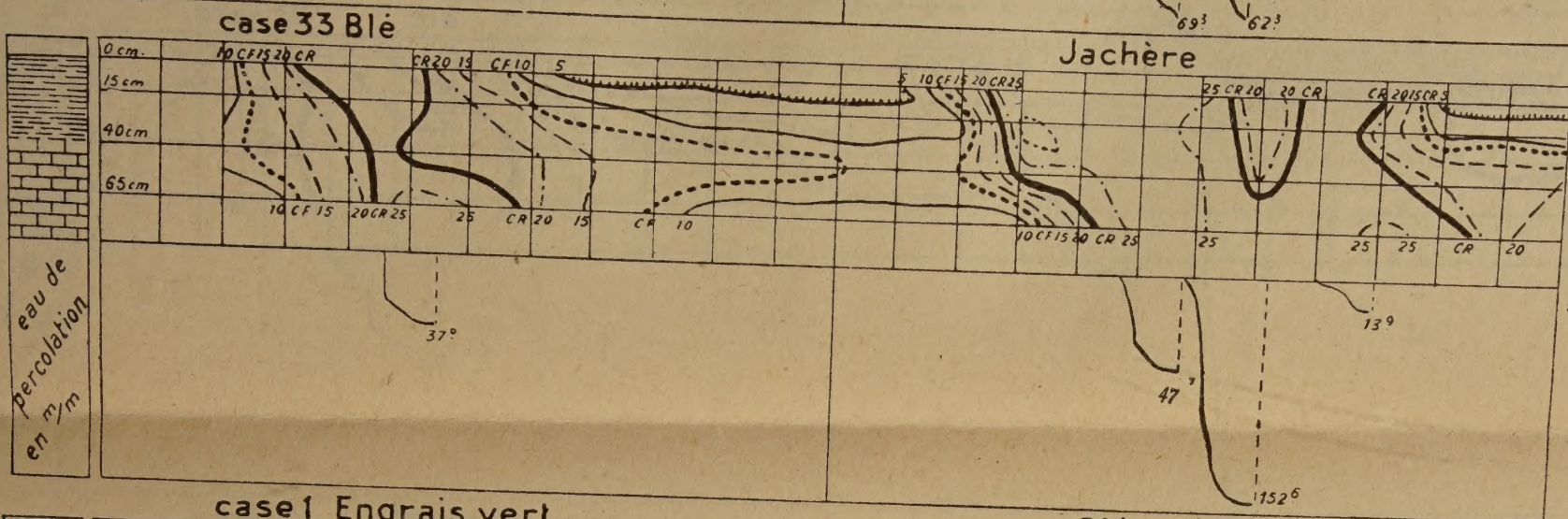
Observations
--- Moyenne de l'année
— Moyenne générale
(plur annuelle)

Température
Moyenne . 17°4
1944-1945 . 16°5
1945-1946 . 16°8

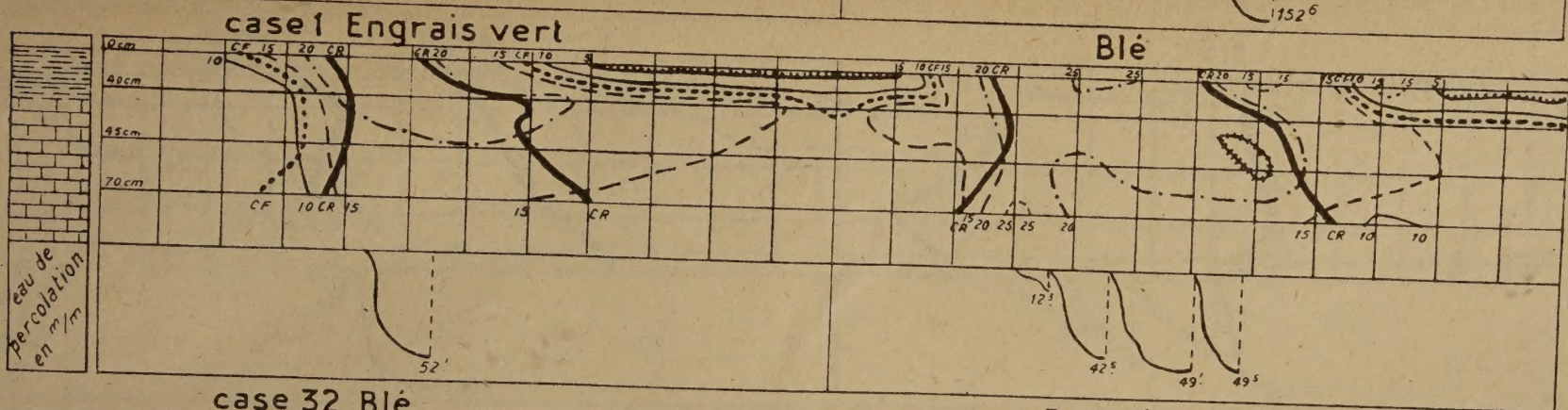
Pluviométrie
Moyenne . 506 mm
1944-1945 . 252.5 mm
1945-1946 . 497.8 mm



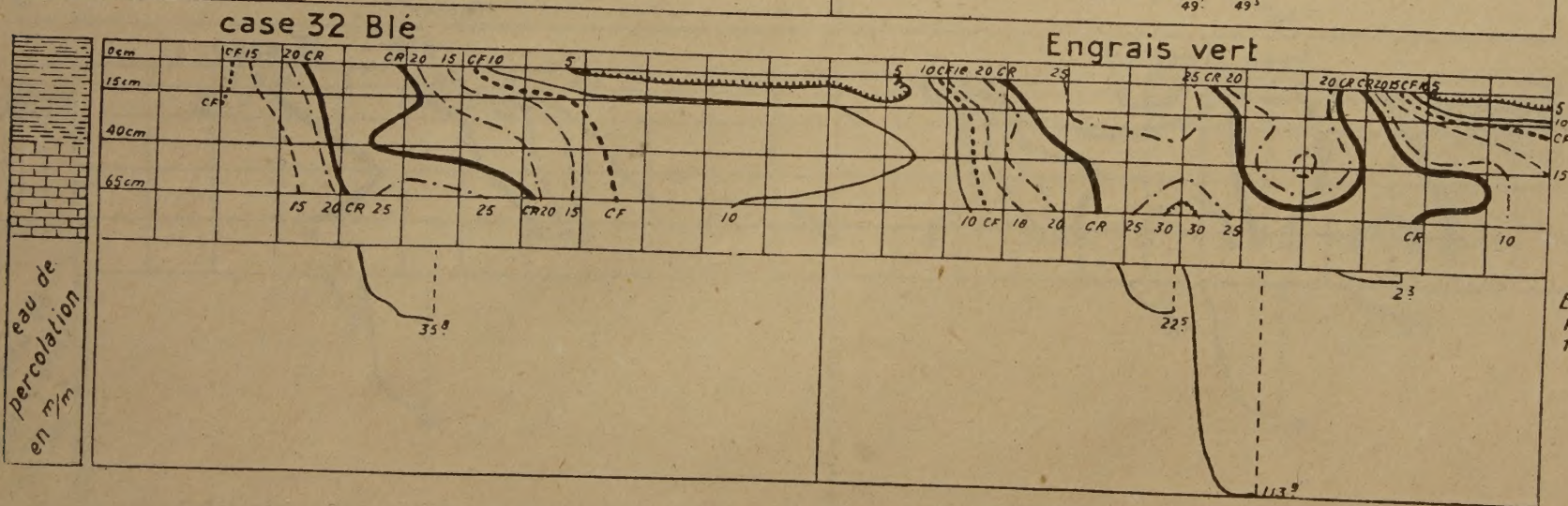
Eau percolée:
1944-1945 . 19.3 mm
1945-1946 . 161.8 mm



Eau percolée:
1944-1945 . 37.0 mm
1945-1946 . 174.2 mm



Eau percolée:
1944-1945 . 62.1 mm
1945-1946 . 153.4 mm



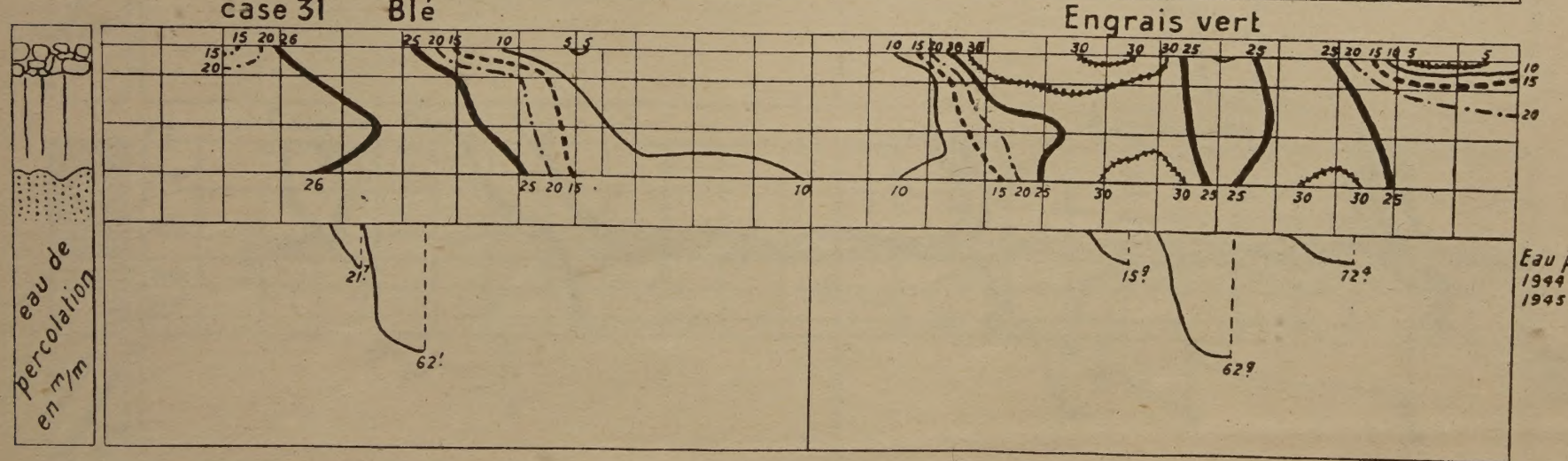
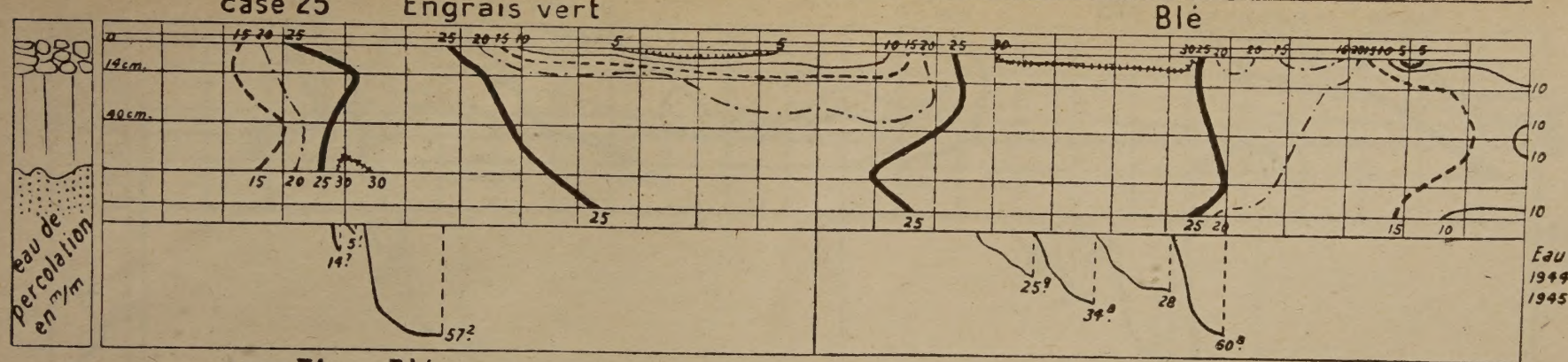
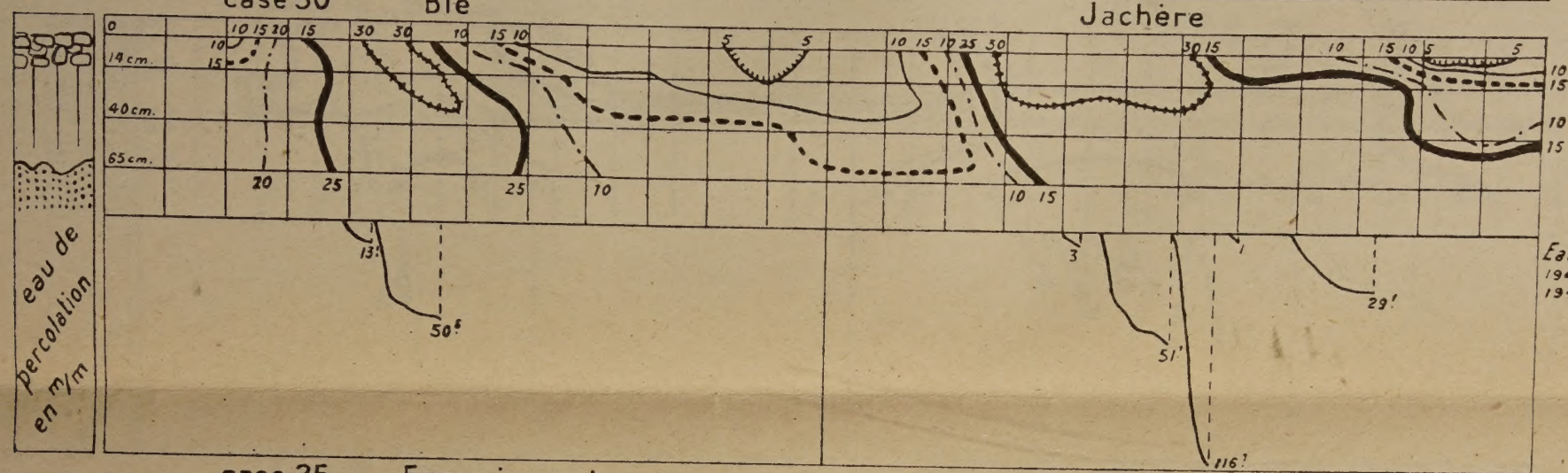
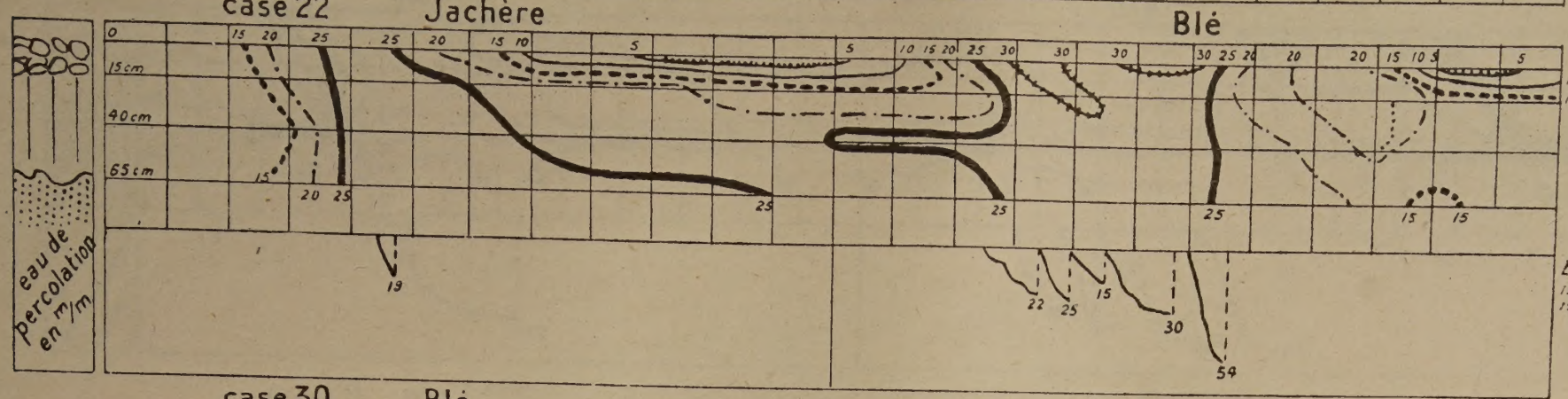
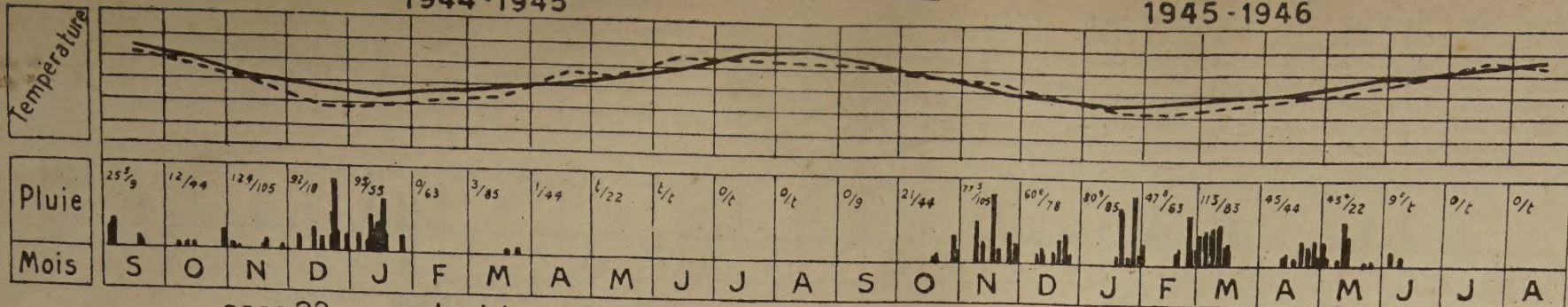
Eau percolée:
1944-1945 . 55.8 mm
1945-1946 . 138.7 mm

HUMIDITÉ DES CASES

1944-1945

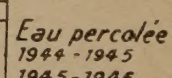
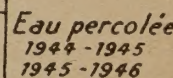
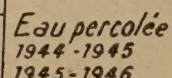
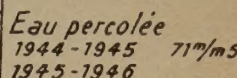
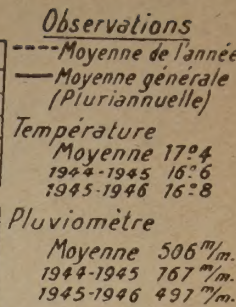
— TIRS —

1945-1946



1944-1945

1945 - 1946



de même l'année précédente, car dans les cases 22 et 25 qui avaient porté du blé au cours de la campagne 1943-1944 l'humidité était restée inférieure au coefficient de flétrissement sur toute l'épaisseur de la terre, jusqu'en novembre, tandis que dans les deux autres cases (après jachère avec et sans engrais vert) seule la couche superficielle révèle au 1^{er} novembre un taux d'humidité inférieur à ce coefficient.

En 1945-1946, année moyennement pluvieuse, marquée cependant par une sécheresse printanière de mars-avril suivie de pluies prolongées d'avril à juin, on observe également que dans toutes les cases la capacité de rétention est atteinte dès le début de l'hiver, quoique plus rapidement en profondeur dans les cases emblavées après jachère que dans les cases en jachère après le blé, puis après avoir noté qu'en hiver les couches superficielles sont gorgées d'eau (plus de 30 % d'humidité), surtout dans les cases 30 (jachère) et 31 (colza), on observe en mars la chute de l'humidité au-dessous de la capacité de rétention dans toute l'épaisseur des cases en blé et en colza, ce qui coïncide avec la sécheresse de mars-avril; mais par la suite, le colza ayant été enfoui au début de mars, les pluies printanières ramènent dans la case à engrais vert l'humidité au niveau de la capacité de rétention. Il n'en va pas de même dans les cases à blé. La case à engrais vert se comporte donc alors comme la jachère, chez laquelle l'humidité reste égale ou supérieure à la capacité de rétention jusqu'en juillet et même, au fond, jusqu'à l'automne, tandis qu'elle tombe au-dessous en juillet dans la case 31 (engrais vert).

Ensuite l'humidité s'abaisse au cours de l'été au-dessous de 20 % dans la case 22 et au-dessous de 15 % (coefficient de flétrissement) dans la case 25 qui viennent de porter du blé, alors que, sauf en surface, elle se maintient au-dessus de ces taux dans les jachères ayant ou non porté du colza enfoui comme engrais vert.

La comparaison des cases à engrais vert avec celles en jachère nue est intéressante parce qu'elle montre qu'en été 1945 les deux cases 22 et 25 sont restées toutes deux relativement humides (sauf en surface), mais que tout de même en profondeur la case à engrais vert a été moins humide puisqu'à 0 m 65 de profondeur l'humidité est tombée au-dessous de la capacité de rétention au cours du mois d'avril alors qu'elle s'est maintenue supérieure à ce taux dans la jachère et à cette profondeur jusqu'en juillet. De même, en 1946, et bien que dans les deux cases (30 et 31) seules les couches superficielles se soient vraiment desséchées en été, on voit que dans la case à engrais vert l'humidité en profondeur tombe au-dessous de la capacité de rétention à la fin de juin, tandis qu'elle se maintient tout l'été au-dessus de cette valeur dans la case en jachère.

De même, l'examen des cases ayant porté du blé montre que chaque année l'humidité estivale des cases tombe (en avril 1945, en juin-juillet 1946) dans toute l'épaisseur de la terre, au-dessous du coefficient de flé-

trissement lorsque le blé succède à l'engrais vert (cases 31 et 25), mais qu'elle se maintient durant tout l'été, sur une partie de l'épaisseur de la terre, supérieure à ce coefficient quand le blé succède à la jachère nue travaillée (cases 30 et 22).

Dans ce cas la dessiccation des couches superficielles est nettement plus prononcée en 1945 qu'en 1946, ce qui n'est pas étonnant, étant donné la rareté des pluies en 1945, et leur abondance au printemps 1946.

Dans le hamri les observations faites sont analogues. En 1944-1945 la capacité de rétention, avec un mois de retard cependant sur le tirs, est assez vite atteinte en hiver dans toutes les cases.

Le desséchement commence dès la fin des pluies, donc fin janvier : l'humidité tombe en février au-dessous de la capacité de rétention dans les couches superficielles de toutes les cases, et aussi dès le fin de mars dans toute l'épaisseur des cases emblavées, tandis que l'humidité des couches moyennes reste relativement élevée jusqu'à la fin du printemps et même jusqu'en août dans les cases en jachère sans engrais vert ou avec engrais vert (enfoui au début de mars).

Par la suite, la dessiccation continue; l'humidité tombe plus ou moins vite au-dessous du coefficient de flétrissement dans toute l'épaisseur des cases emblavées, tandis que dans les cases en jachère, seules les couches superficielles sont bien desséchées. A noter que, contrairement à ce qui se passe le plus généralement dans le tirs, l'humidité du fond est en été dans toutes les cases inférieure à celles des couches moyennes. En 1945-1946, mêmes observations que dans le tirs; la capacité de rétention est atteinte rapidement mais avec un retard moyen d'un mois sur le tirs et le r'mel. En hiver la terre est gorgée d'eau (surtout dans la jachère et dans les couches supérieures des autres cases (un peu moins cependant dans la case 1 emblavée sur engrais vert). Au printemps, l'humidité tombe en général au-dessous de la capacité de rétention, mais, grâce aux pluies d'avril-mai, elle l'atteint de nouveau dans les cases en jachère nue et dans celles où l'engrais vert a été enfoui au début de mars. Le phénomène de desséchement puis de réhumidification dans les cases non emblavées se passe comme dans le tirs grâce aux pluies de printemps, mais, semble-t-il, plus brutalement.

Cette réhumidification ne se produit pas dans les cases emblavées. Ensuite l'humidité tombe en juin-juillet dans les deux cases de jachère (avec et sans engrais vert) au-dessous de la capacité de rétention. Elle y reste, sauf dans la couche superficielle, supérieure au coefficient de flétrissement, alors qu'elle tombe dès juin-juillet au-dessous de ce coefficient dans la case n° 34 qui vient de porter du blé. Comme l'année précédente, on observe qu'en été dans le hamri les couches moyennes restent en général les plus humides; ce fait est particulièrement visible

dans la case 1, qui vient de porter du blé sur engrais vert, où le taux d'humidité des couches moyennes reste tout l'été supérieur au coefficient de flétrissement.

La comparaison des cases en engrais vert avec celles en jachère nue ne révèle pas de différences marquées entre les deux systèmes quant à l'humidité estivale des terres.

Dans les cases à blé, l'humidité estivale du sol reste, au moins dans les couches moyennes, un peu plus élevée en 1945 (année sèche, de faibles récoltes) dans la case 33 (blé sur jachère) que dans la case 32 (blé sur engrais vert).

Par contre, en 1946 (année humide et de bonnes récoltes), c'est l'inverse et la terre de la case 34 (blé sur jachère) est en été nettement plus sèche que celle de la case 1 (blé sur engrais vert).

Dans le *r'mel*, en 1944-1945, on constate au seuil de l'hiver et dans toutes les cases que l'humidité atteint rapidement dans la partie sableuse la capacité de rétention, aussi vite que dans le tirs.

La percolation est abondante à cause de la faible capacité de rétention de la couche sableuse, et de l'humidité de la couche argileuse.

Le desséchement commence un peu après la fin des pluies, mais la percolation se poursuit plus longtemps, jusqu'en mars, sauf dans la case à colza. Celui-ci, bien qu'enfoui au début de mars, s'est montré à peu près aussi desséchant que le blé; il est vrai que cette année-là, faute de pluie, le blé, dans cette terre légère, séchait sur pied au printemps et ne consommait plus guère.

Par contre, dans la partie sableuse de la jachère, l'humidité reste relativement importante jusqu'en juin, et, seule, l'humidité des couches superficielles y tombe au cours de l'été au-dessous du coefficient de flétrissement. Toutefois, à ce point de vue, l'efficacité de la jachère est moins importante que dans le tirs et le hamri.

Dans la partie profonde argileuse, l'humidité reste, dans toutes les cases et, tout l'été, supérieure au coefficient de flétrissement.

En 1945-1946, la capacité de rétention est également atteinte dans la partie sableuse de toutes les cases dès novembre et, fait curieux, elle est atteinte à peu près en même temps, ou même plus tôt, dans la partie argileuse.

Par la suite, après quelques dessiccations temporaires de mars-avril surtout marquées dans les cases à blé, l'humidité tombe, mais seulement en juillet, au-dessous de la capacité de rétention et même du coefficient de flétrissement dans la partie sableuse de toutes les cases. Il semble donc que dans cette terre, et quand il pleut jusqu'à la moisson, l'effet de la jachère sur l'humidité estivale du sol n'est pas marqué comme dans le tirs et le hamri. Il apparaît même qu'en profondeur la case en jachère se soit relativement plus desséchée que les cases à

blé et que celle à engrais vert. A noter que, dans cette dernière case (n^o 14), l'humidité en profondeur, donc dans la partie argileuse, s'est maintenue de l'hiver à l'été 1946, plus forte que dans les cases emblavées, ce qui n'apparaît pas dû à l'action même de la jachère mais à l'obturation accidentelle du tuyau d'écoulement au printemps.

La comparaison des différentes cases montre qu'en 1945 (année sèche), l'engrais vert a provoqué un dessèchement de la terre plus marqué que dans la jachère, et qu'en 1946 (année humide au printemps), on observe plutôt le contraire, au moins en profondeur.

Dans les cases à blé, la dessiccation estivale du sol au moins en profondeur apparaît d'après les graphiques et aussi bien en 1946 qu'en 1945 un peu plus accentuée lorsque le blé vient sur engrais vert que lorsqu'il succède à la jachère nue, mais cette conclusion n'est cependant pas très nette.

*
* *

En résumé, l'humidité des divers sols, sous le climat de Rabat, augmente à l'automne, passe par un maximum en hiver et diminue au printemps.

Au cours de l'hiver, et même dès le début de l'hiver, c'est-à-dire avant que la végétation ait pu marquer son action, elle est rapidement, et *dans toutes les cases*, aussi bien en jachère qu'en blé, aussi bien après jachère qu'après blé, et quel que soit le sol, égale ou supérieure à la capacité de rétention. Le stock d'eau dans le sol est donc en hiver, et sous notre climat, indépendant de la nature des cultures.

Au printemps, on constate *dans les cases emblavées* une différence entre le tirs et le hamri d'une part, le r'mel d'autre part; dans les premiers, le taux d'humidité descend, *avant la fin des pluies*, au-dessous de la capacité de rétention (malgré les pluies printanières abondantes de 1946); par contre, dans le r'mel (sable sur argile) il reste jusqu'à la fin de la saison pluvieuse égal ou supérieur à cette capacité.

La culture du blé provoque donc l'assèchement relatif des sols, assèchement qui débute dès le printemps dans les tirs et hamri (et qui semble beaucoup moins net dans le r'mel en année pluvieuse), tandis que dans les cases en jachère travaillée, nue ou avec enfouissement d'engrais vert avant la fin de l'hiver, le sol reste humide au cours de l'été (sauf en surface). Ce maintien de l'humidité a été particulièrement bien mis en évidence au cours de l'été 1945, année terriblement sèche depuis janvier même dans le r'mel où cependant l'effet de la jachère est bien moins marqué (ou même non marqué en 1946).

Nos essais confirment donc bien que l'efficacité de la jachère travaillée, peu accusée dans la terre légère qui retient mal l'eau, ne résulte

pas en terre plus forte de l'accumulation qui s'avère inutile, sinon illusoire, de deux années de pluies, puisque les pluies d'automne suffisent à saturer d'eau le sol, quelle que soit la sole antérieure, mais de l'humidité estivale maintenue dans le sol. PAPADAKIS, comme BŒUF, a d'ailleurs attribué la véritable efficacité de la jachère travaillée à une meilleure nitrification, favorisée par cette humidité de la terre en été.

Au cours de l'été, le tirs, sol compact et lourd, perd moins d'eau que le hamri, sol structural et aéré et, dans le r'mel, les horizons sableux se dessèchent sur presque toute leur épaisseur tandis que les couches profondes argileuses restent humides.

Enfin il semble que les pluies tardives contribuent au dessèchement plus profond du sol. Il suffit de comparer à ce sujet les états hydriques des sols en jachère aux mois d'automne 1944 et 1946 avec ceux de l'année sèche 1945. Le sol des jachères, en 1945, était plus humide qu'en 1944 et 1946.

D'autre part, nos essais montrent que la pratique de l'engrais vert a, en général, pour effet de réduire quelque peu l'humidité ultérieure du sol, mais qu'elle ne joue habituellement pas en culture sèche le rôle très desséchant que lui attribuait DE CILLIS, à la condition de ne pas laisser la plante utilisée se comporter comme une culture menée à son terme, car BŒUF a démontré que toutes les cultures sont desséchantes. L'engrais vert ne joue pas un rôle néfaste dans nos essais parce qu'on l'a coupé et enfoui avant la fin de l'hiver, c'est-à-dire avant le début du dessèchement printanier qui serait d'ailleurs accentué par sa culture prolongée, avant donc la fin des pluies, afin de ramener à temps la sole à l'état de jachère nue travaillée susceptible de bénéficier des pluies de printemps; ceci semble être bien mis en lumière par les observations de 1946.

Ce n'est donc pas le stade de végétation, la floraison, qui doit déterminer au Maroc l'époque d'enfouissement, mais la saison, et la prudence du cultivateur à l'égard des sécheresses possibles de printemps. Quant à l'action sur les rendements ultérieurs de blé, elle n'est pas mise en évidence par nos essais. L'extraordinaire sécheresse de 1945 et quelques accidents matériels ont enlevé de leur valeur à nos chiffres concernant les rendements et d'autre part on ne peut encore généraliser ses résultats expérimentaux si peu nombreux qui montrent très peu de différence et sont sujets à caution.

Percolation. — Nous terminerons par quelques considérations sur la percolation (Voir graphiques et tableaux).

D'une façon générale, les périodes de percolation correspondent aux périodes pluvieuses.

La percolation est d'ailleurs étroitement liée à l'état hydrique de la

terre. Elle commence en 1945-1946 dans les cases traitées en jachère (avec ou sans engrais vert) au cours de la campagne précédente, plus tôt que dans celles qui avaient porté du blé l'année précédente. En outre elle s'arrête tôt dans les cases emblavées, alors qu'elle se poursuit jusqu'à la fin des pluies dans les cases en jachère. Cette différence est toutefois très atténuée dans le r'mel où, grâce à la couche argileuse profonde et à la faible rétention des couches supérieures sableuses, la percolation se poursuit partout jusqu'en juin.

En outre, il est curieux et intéressant d'observer qu'en année à hiver et printemps secs (1944-1945) et surtout dans les terres fortes (tirs et hamris), la percolation des cases en jachère a été très réduite, beaucoup plus faible que dans les autres cases, alors qu'au contraire, en année pluvieuse, la percolation y a été plus abondante.

Au cours de l'hiver, dans le tirs, à capacité de rétention élevée, il passe en général plus d'eau de percolation que dans le hamri qui s'est davantage desséché au cours de l'été précédent, et la percolation y commence plus tôt. Ces constatations sont à rapprocher des conclusions antérieures de MIÈGE qui a signalé que la percolation dépend non seulement des pluies de l'année mais aussi des précipitations de l'année précédente et de l'humidité du sol à la fin de la campagne précédente.

Dans le r'mel, la capacité de rétention des couches sableuses étant faible, on recueille beaucoup d'eau de percolation et la percolation s'y poursuit plus longtemps grâce à la couche inférieure argileuse.

Les observations météorologiques d'une part, et d'autre part la grande humidité de toutes les cases dès le début de l'hiver jusqu'au printemps, les percolations constatées, la filtration d'une partie des précipitations atmosphériques qui traversent la masse de sol de 1 m d'épaisseur, montrent qu'en hiver le climat du Maroc, tout au moins à Rabat, est celui d'un pays tempéré humide où il y a mouvement descendant de l'eau et par conséquent possibilité de lessivage.

CONSIDÉRATIONS DIVERSES.

Pour finir nous signalerons encore un petit détail : l'accroissement de l'humidité du sol à l'automne qui commence à se manifester assez souvent avant les premières pluies. Les graphiques de BÆUF et NOVIKOFF avaient déjà révélé la même constatation d'une façon encore plus accentuée. Il faut à ce sujet ne pas oublier l'humidité très grande de l'air à Rabat, et l'importance des condensations possibles en septembre.

D'autre part le taux d'humidité est assez souvent plus faible au fond et en surface qu'à un niveau intermédiaire. On peut supposer qu'au printemps et au début de l'été, cet état de fait résulte, en partie tout au moins, de l'action concomitante de l'évaporation et de drainage; mais à

la fin de l'été, alors que l'humidité recommence à croître à ce niveau intermédiaire avant qu'il ait plu, l'explication reste semble-t-il à trouver et à vérifier. Toutefois, la communication de M. ROSEAU sur la circulation de l'eau dans le sol et la discussion qui a suivi suggèrent des hypothèses de travail pour l'étude de ce phénomène.

Bibliographie.

- BŒUF et NOVIKOFF. — Cultures en cases de végétation et en cases lysimétriques au Service botanique et agronomique de Tunisie (*Ann. du Serv. Bot. de Tunisie*, 1935-1936).
- E. DE CILLIS. — Il sovescio nei climi calco-aridi. (XII^e Congrès international d'Agriculture. Rome, mai-juin).
- E. MIÈGE. — Étude du bilan de l'eau et des éléments fertilisants dans quelques sols types du Maroc (*Ann. Agron.*, n° 3, 1937).
- La percolation des eaux dans quelques sols types du Maroc. (IV^e Congrès de la Fédération des Sociétés Savantes de l'Afrique du Nord. Alger, 1938).

THE INFLUENCE OF SALT SOLUTIONS ON THE INTAKE OF IONS BY BARLEY SEEDLINGS

A. REIFENBERG.
(Hebrew University, Jerusalem.)

The intake of ions from salty irrigation water is a matter of considerable interest to farmers in arid and semi-arid countries. In Palestine (1), as in many other countries (2) saline irrigation waters are mainly characterised by a preponderance of sodium chloride. The present paper is not concerned with the effect of saline water on the soil, where the deteriorating effect may be enhanced through salt accumulation, base exchange or contact effects (3,4). Here we are only concerned with the direct influence of salts on the intake of ions by the plant or their outgo from the latter.

In order to investigate this effect the author and his collaborators have carried out a number of experiments, two of which may be described here. In the first experiment barley seedlings were grown in natural saline irrigation water at different dilutions and with varying addition of nutrients. In the second experiment barley seedlings were grown in single salt solutions.

A. Saline Irrigation Water and its effect on the intake of nutrients.

The irrigation water employed had the following composition :

TABLE 1.

Analysis of irrigation water employed.

	Na	K	Ca	Mg	HPO ₄	Cl	SO ₄	HCO ₃
p. p. m.	1927	54	353	250	tr.	3553	944	164
M. E./litre.	83.7	1.3	17.6	20.6	tr.	100	197	2.7

In order to study the influence of concentration the water was diluted to obtain 35,350,1750 and 3000 p. p. m. of chlorine. The intake of nutrients under these conditions was studied by the addition of KNO³

and KH_2PO_4 in different proportions giving the following final concentration :

TABLE 2.

Addition of nutrients (M. E. 10^{-1} per 500 cc.).

	K	HPO ₄	N
1. Weak addition of nutrients (NPK I) . . .	31.7	9.2	22.5
2. Medium addition of nutrients (NPK II). .	158.5	45.8	112.7
3. Strong addition of nutrients (NPK III). .	317.0	91.6	225.4

Whilst not considering here the physiological effect of salt accumulation in the experiments it may be pointed out that in view of the short vegetation period (approx. 3 weeks) damage caused to growth and yield was not very considerable. Over a prolonged vegetation period, of course, the damage would have been detrimental if not actually lethal.

The following table shows the results obtained :

TABLE 3.

Amount of ions present in the culture solution (M. E. 10^{-1} in 500 cc) and amount of ions absorbed by the plants (M. E. 101^{-1} per gr of dried material.

(Experiments carried out by Mrs R. Rosovsky (25).

CULTURE Solution Cl p. p. m.	Na	K	Ca	Mg	$\frac{1}{2}$ HPO ₄	Cl	SO ₄	NO ₃	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg	$\frac{1}{2}$ HPO ₄	Cl	SO ₄	NO ₃	TOTAL Cation	TOTAL Anions
35 —	4.2	0.1	0.9	1.0	—	5.0	1.0	—	0.1	2.3	-0.6	0.6	-0.4	-0.4	1.9	0.2	—	1.9	1.8
35 + NPK I	4.2	31.8	0.9	1.0	—	5.0	1.0	22.5	0.1	0.9	7.0	0.4	0.5	4.1	1.4	—	1.5	8.7	7.0
35 + NPK II	4.2	158.5	0.9	1.0	45.8	5.0	1.0	122.6	0.1	0.8	12.8	0.8	0.5	6.5	1.7	0.1	9.3	14.9	17.5
35 + NPK III	4.2	316.9	0.9	1.0	91.6	5.0	1.0	225.2	0.1	0.3	16.9	1.4	-0.3	7.5	1.0	0.1	11.9	18.3	20.5
350 —	41.9	0.7	8.8	10.3	—	50.0	9.8	—	1.4	10.3	-0.7	1.1	—	—	10.6	0.5	—	10.8	11.2
350 + NPK I	41.9	32.4	8.8	10.3	9.2	50.0	9.8	22.5	1.4	5.6	6.6	2.9	0.5	3.2	8.8	0.5	1.4	15.6	13.9
350 + NPK II	41.9	159.1	8.8	10.3	45.8	50.0	9.9	112.6	1.4	3.1	15.8	2.5	0.6	6.0	6.2	0.6	9.7	22.0	22.5
350 + NPK III	41.9	316.9	8.8	10.3	91.6	50.0	9.8	225.2	1.4	3.0	16.8	2.4	0.5	7.7	3.8	0.7	11.5	22.6	23.6
1750 —	209.5	4.0	44.1	51.4	—	250.0	49.2	—	6.8	16.2	0.6	3.1	0.7	0.7	18.0	3.1	—	20.7	21.7
1750 + NPK I	209.5	35.6	44.1	51.4	9.2	250.0	49.2	22.5	6.8	10.7	7.5	2.6	1.1	3.7	14.8	1.2	4.0	21.9	23.7
1750 + NPK II	209.5	162.4	44.1	51.4	45.8	250.0	49.2	112.6	6.8	7.1	16.0	3.1	0.7	6.1	10.6	1.3	9.6	26.8	27.5
1750 + NPK III	209.5	320.8	44.1	51.4	91.6	250.0	49.2	225.2	6.8	6.6	18.3	2.6	1.3	6.1	10.5	1.1	13.0	28.9	30.6
3000 —	359.1	6.0	75.6	88.1	—	428.6	84.3	—	11.6	20.4	1.8	2.6	1.6	0.1	23.6	2.7	—	26.3	26.4
3000 + NPK I	359.1	37.7	75.6	88.1	9.2	428.6	84.3	22.5	11.6	13.6	6.9	3.2	1.9	3.7	19.9	1.4	2.1	25.7	27.1
3000 + NPK II	359.1	164.4	75.6	88.1	45.8	428.6	84.3	112.6	11.6	13.3	11.3	3.1	2.4	2.9	19.4	1.4	9.8	30.0	33.5
3000 + NPK III	359.1	322.8	75.6	88.1	91.6	428.6	84.3	225.2	11.6	14.1	17.5	2.9	1.8	2.5	22.2	1.4	9.7	36.3	35.7

It will be seen from these figures that the plants possess a certain power of exclusion, since there is no parallelism between salt concentration in the solution and salt accumulation in the plant. With increased concentration the absorption of ions becomes relatively depressed, a fact which is, of course, well known (5). Ion absorption by the plant depends not only on the ion concentration but also on their quality and on the presence and quality of other accompanying ions (2, 5, 6, 7). Because of the incapacity of the plant to exclude even detrimental ions the concentration in which these occur is of utmost importance. A one-sided predominance of certain ions may impede the intake of vital ions. Furthermore, the one sided predominance and consequent intake of certain ions may also cause considerable disturbance in the colloido-chemical structure of the protoplasm. It is generally assumed that certain ions e. g. Na and K, augment the swelling properties of the protoplasm and so impede its vital activities. Other ions such as Ca appear to exert an opposite effect and lead to a de-toxication of the plasma (8).

The ions present in one sided predominance in our case are sodium and chlorine, and—in nutrient enriched media of low Cl-concentration—also potassium, phosphoric acid and nitrates.

The undesirable effect of *sodium* predominance in irrigation water has been stressed by many authors, but evidence concerning the antagonistic effect of sodium and potassium is conflicting (8, 9, 18).

In our experiment Na and Cl were the ions most readily absorbed. As pointed out before, their intake was, however, not proportional to the amount of NaCl present in the culture solution.

In no case and even at the highest concentration of Na was an impeding influence of this ion on the intake of K observed. With solutions ranging in NaCl concentration from ca. 50 to 4.000 p. p. m. and varying within a wide range in K concentration the results obtained under the conditions of our experiment fully corroborate those authors who found no impediment of K absorption in the presence of Na (13, 19, 20).

The intake of sodium is most distinctly impeded, on the other hand, by the presence of *potassium*, the impediment being apparently directly proportional to the amount of K present. The depression effect is, of course, much weaker with high Na-concentration.

Calcium was absorbed to a most marked degree when present in the low-est concentration, but was absorbed only to 25 per cent at ten times and to only 4 per cent at fifty times the amount. Similar figures were recorded for the intake of *magnesium*. Because of the short vegetation period the total intake of both these bivalent ions was very small.

With regard to the intake of anions it may be pointed out firstly

that relatively and absolutely the strongest absorption occurred in the case of *chorine*.

As with other ions also the intake of Cl becomes relatively weaker as the concentration in the culture solution is increased.

In all cases the intake of *sulphates* was much smaller both relatively and absolutely, a finding which has previously been recorded by several authors (8, 10, 11, 13).

The intake of *phosphoric acid* was high and only impeded in the presence of the highest chloride concentration employed. This observation may be compared with similar results obtained by other authors (9, 17, 19, 20). It is manifest, on the other hand, that the intake of chloride is very much impeded, except in the case of the highest Cl-concentration, by the presence of phosphoric acid. With the highest amount of phosphoric acid the intake of Cl was diminished by about 50 per cent, a result noteworthy for its possible practical significance if the observed phenomenon proves to be generally valid.

The intake of *nitrates* was not influenced at all by the presence of chlorides and sulphates, an observation made before by various authors (9, 11, 17).

It is evident from the difference in the intake of cations and anions recorded in our experiment that there exists a general tendency for preferential anion-intake. It is known, and we will see it in the experiment to be described below, that a preferential intake of anions is accompanied by an outgo of bicarbonates from the plant in order to preserve the electrostatic equilibrium.

In so far as one can generalise from this experiment it is not salt-accumulation as such, but the one sided predominance of certain ions which may play a decisive role under natural conditions, in our case the inundation of the plant by the protoplasma-harmful Na and Cl ions. This harmful effect may be counteracted by the addition of potash and phosphates, which tend to impede the intake of Na and Cl. Fertilization with potash and phosphates may therefore prevent the intake of sodium chloride from saline irrigation water.

B. *Ion absorption by barley seedlings from single salt-solutions.*

These experiments were undertaken in order to obtain a better insight into the mechanism of ion-intake and outgo. The plants were grown from the germination of the seed onwards in single salt solutions. It was thus found possible to eliminate mutual interaction of salts and to trace the influence of a single salt in each particular case. The experiments were made with NaCl, KCl, NH_4Cl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and K_2SO_4 .

In all concentrations of NH_4Cl and K_2SO_4 the absorption was not

equivalent, more cations being absorbed. In the case of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ absorption was dominantly anionic in all concentrations. The preferential intake of the cation in ammonium salts (24, 26) and of the anion in the case of nitrates (10, 21, 24, 26, 27) is, of course, a well known fact, causing the so called physiological acidity or alkalinity of fertilisers.

The absorption from dilute solutions of NaCl and KCl was equivalent, but at higher concentrations, i. e. from 0.05 n onwards the character of the absorption changed into a one sided anionic one.

TABLE 4.

Absorption and exchange of ions by barley seedlings growing in salt solutions of 0.05 n concentration (10^{-1} M. E. per gr. of dry plant material).

SOLUTION (0.05 n)	Na	K	Ca	Mg	N	Cl	SO_4	HPO_4	TOTAL Cations	TOTAL Anions	Differ. between ions	TOTAL Ions
KCl	0.1	5.9	-0.8	-1.6	—	7.1	—	-0.7	3.6	6.4	-2.8	10.0
NaCl	4.0	-1.7	-0.1	-0.7	—	3.7	—	-0.4	1.5	3.3	-1.8	4.8
NH_4Cl	—	c—	0.1	-1.6	5.4	2.6	—	-1.2	3.9	1.4	2.5	5.3
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.3	-0.4	2.6	-0.9	6.2	0.2	—	-0.7	1.6	5.7	-4.1	7.3
K_2SO_4	0.2	9.3	-0.5	-1.2	—	—	2.8	-0.2	7.8	2.6	5.2	10.4

Quantity of bicarbonates in the solution	pH values of the solutions		
HCO_3 M.E.10-/	BEGINNING of experiment	END OF EXPERIMENT	
		Solution as found	After boiling
2.5	6.5	5.9	8.2
1.8	6.8	5.7	9.2
—	5.4	4.7	4.8
4.3	5.6	7.1	9.6
—	6.0	4.1	4.0

Experiments carried out by Dr. T. Menachem-Starkmann (30).

The finding of a turning-point in the absorption-character from NaCl and KCl solutions as a function of their concentration is of parti-

cular interest and may partly explain the divergent results obtained by other workers (10, 22, 26, 28, 29).

The plant reveals an elective power of absorption towards certain ions from among those at its disposal (6). It may be assumed that the decisive factor is not only given by the physico-chemical properties of the ion, but also by this elective power. Unequal absorption of ions now gives rise to disturbances in the electrostatic equilibrium of the plant and its life-medium. The preservation of this equilibrium has to be accomplished by the plant itself. It is achieved both by exchange processes between plant and medium and by the activity of its respiration system.

The former process, i. e. the exchange of mineral ions is well-known and can also be deducted from our figures (Table 4). But this ion-exchange is in itself not sufficient to preserve the electrostatic equilibrium. It has already been stressed by various authors (5, 8, 10, 22-24, 27) that in many cases the electrostatic equilibrium can only be preserved by the respiratory activity of the plant yielding HCO_3 , H and OH — ions. As will be seen from Table 4 a one-sided intake of cations (NH_4Cl and K_2SO_4) is coupled with the appearance of H-ions in the solution. A rise in the acidity of the life-medium of the plant is taking place and no HCO_3 -ions are found in the solution. Not so in the case of a one-sided anion-absorption (NaCl , KCl , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$). Here bicarbonates are found in the solution and their amount balances the difference between the sum-total of anions and cations. The life-medium shows a trend towards alkalinity, although in the case of NaCl and KCl this trend becomes apparent only after the removal of the excess of CO_2 .

The fact that one-sided anionic absorption and a corresponding trend towards alkalisation has been found in relatively concentrated solutions of NaCl may possibly prove to be of ecological importance. If this phenomenon will prove to be true generally, it may constitute a contributing factor wherever alkalisation and soda-formation is met with.

Summary.

1. With natural irrigation water rich in sodium chloride the intake of potassium was not impeded by sodium in our experiments. Potassium, on the other hand, had an impeding influence on the intake of sodium. The intake of phosphoric acid was not impeded by chlorine, except when the latter was present in large excess. Addition of phosphates, on the other hand, considerably decreased the intake of chlorine, except in the case of the highest Cl-concentrations employed. The intake of nitrates was not influenced by sodium chloride.

• If the results obtained prove true for longer vegetation periods and for less extreme conditions, it may be possible that fertilization with potash and phosphates will prevent the intake of sodium chloride from saline irrigation water.

2. Barley seedlings grown in single salt solution showed a one-sided cation absorption in the case of NH_4Cl and K_2SO_4 with a corresponding rise in acidity. In the case of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ a one-sided intake of anions with a corresponding rise in alkalinity occurred. In the case of NaCl and KCl intake of both ions was equivalent in low concentrations. With higher concentration the intake was decidedly anionic. In all cases where the intake of anions exceeded the intake of cations, the electrostatic equilibrium was provided by the respiratory activity of the plant, yielding HCO_3 -ions. This production of bicarbonate-ions has a marked influence on the milieu, constituting a trend towards alkalisation.

It is suggested that the one-sided anion-absorption in the case of NaCl and the corresponding formation of bicarbonates in the milieu may constitute a contributing factor for alkalisation and soda-formation in the soil.

References.

1. REIFENBERG (A.) (1938). — « The Soils of Palestine » (2nd édition in press).
2. MAGISTAD (O.-C.) and CHRISTIANSEN (J.-E.) (1944). — « Saline Soils » (U. S. A. Dpt. of Agric., Circular 707).
3. JENNY (H.) and OVERSTREET (R.) (1939). — Soil Science 47, No. 4.
4. JENNY (H.), OVERSTREET (R.) and AYERS (A.-D.) (1939). — Soil Science 48, No. 1.
5. HOAGLAND (D.-R.) (1944). — « Lectures on the Inorganic Nutrition of Plants. »
6. FREY-WYSSLING (A.) (1935). — « Die Stoffausscheidung der höheren Pflanze. »
7. PIERRE (W.-H.) and BOWER (C.-A.) (1943). — Soil Science 55, pp. 23 et seq.
8. LUNDEGARDH (H.) (1932). — « Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. »
9. BREAZALE (J.-F.) (1916). — Journ. Agric. Res. 7, pp. 407 seq.
10. HOAGLAND (D.-R.) (1923). — Soil Science, 16, pp. 225 seq.
11. HOAGLAND (D.-R.) and MARTIN (J.-C.) (1923). — Univ. of Calif. Publ. Techn. Paper No. 9.
12. HEINRICH (H.) (1928). — Ztschr. Pflanzenern. Bodenk., A, 10, pp. 299 seq.
13. SCHMALFUSS (K.) (1936). — « Das Kali ».
14. CAROLUS (R.-L.) (1938). — Plant Physiol. 13, pp. 349 seq.
15. HARTWELL (B.-L.), WHEELER (H.-J.) and PEMBER (F.-R.) (1907). — Quoted after Pierre and Bower (7).
16. LEHR (J.-J.) (1942). — Soil Science, 53, pp. 399 et seq.
17. GAUCH (H.-G.) and EATON (F.-M.) (1942). — Plant Physiol. 17, pp. 347 et seq.
18. VAN ITALLIE (Th.-B.) (1935). — Trans. IIIrd Int. Cong. Soil Sc., 1, pp. 191 et seq.
19. GAUCH (H.-G.) and WADLEIGH (C.-H.) (1942). — Proc. Am. Soc. Hort. Science, 41, 365.
20. GAUCH (H.-G.) and WADLEIGH (C.-H.) (1945). — Soil Science, 59, pp. 139 seq.
21. KELLEY (W.-P.) and THOMAS (E.-E.) (1920). — Univ. of Calif. Bull. No. 318.
22. PIRSCHLE and MENGDEHL (H.) (1930). — Jahrb. f. wissensch. Bot. Vol. 74, pp. 297 seq.

23. PIRSCHLE (K.) (1932). — Ber. d. Bot. Ges., Vol. 50 A.
24. LUNDEGARDH (H.) and BURSTRÖM (H.) (1933). — Planta, pp. 693 seq.
25. REIFENBERG (A.) and ROSOWSKY (R.) (1947). — Palestine Journ. of Botany IV, pp. 1 seq.
26. KREYZI (R.) (1936). — Ztschr. Pflanzenern. Düngung, A, 43, pp. 286 seq.
27. LUNDEGARDH (H.) and BURSTRÖM (H.) (1933). — Bioch. Ztschr. 261, pp. 235 seq.
28. HAAS (A.-R.-C.) and REED (H.-S.) (1926). — Hilgardia, 2, pp. 67 seq.
29. LUNDEGARDH (H.), BURSTRÖM (H.) and RENNERFELT (E.) (1932). — Svensk, Bot. Tidskr., 26, pp. 271 seq.
30. MENAIHEM-STARKMAN (T.) (1947). — Thesis submitted for a doctor's degree at the Hebrew University (in Hebrew).

L'ÉROSION ÉOLIENNE DANS LE NORD-OUEST DU SÉNÉGAL

Par G. AUBERT, J. DUBOIS et R. MAIGNIEN.

(Observations effectuées lors de l'exécution d'une mission d'étude des Sols à Arachide, organisée par l'Office de la Recherche scientifique coloniale, et le Service de l'Agriculture de l'Afrique occidentale française.)

La zone nord du Sénégal où se produit une intense érosion éolienne comprend l'ensemble du cercle de Louga, une partie de celui du Bas-Sénégal et des régions plus ou moins étendues de ceux de Matam, de Linguère et de Thiès.

Le pays. — L'ensemble de cette zone correspond à un climat semi-aride, dont les caractères pédologiques les plus importants sont les suivants :

La pluviométrie annuelle y est comprise, en moyenne, entre 250 et 650 mm. Comme le montre le tableau ci-dessous, à Louga, de 1930 à 1945, elle a varié, suivant les années, entre 240 et 806 mm., accusant entre ces mêmes dates une moyenne de 429 mm. La période humide comprend, en général, les mois de juillet à octobre, le nombre de jours de pluie en juillet et en octobre étant faibles.

La température y est très élevée et le degré hygrométrique faible pendant toute la saison sèche, sauf dans une étroite bande côtière où il s'abaisse un peu moins.

Le vent dominant, fréquent et souvent violent, en saison sèche est l'harmattan qui souffle de l'Est ou du Nord-Est. Le vent d'Ouest humide et frais, sensible pendant une partie de l'année, n'est important qu'au-dessus d'une bande côtière peu étendue, sauf pendant l'hivernage, où il tourne au sud-ouest et apporte les pluies sur tout le Sénégal.

Le pays étudié ici est essentiellement sableux, constitué par d'anciennes dunes fixées par la végétation. Certaines, plus récentes, formant un étroit cordon le long du littoral restent assez mobiles. A la limite orien-

NOTA. — Nous désirons exprimer nos remerciements les plus vifs à tous ceux qui nous ont aidé dans notre travail. M. l'inspecteur général SAGOT, chef du Service de l'Agriculture en A. O. F., M. R. MACARY, chef du même service pour le Sénégal, et M. PRADAT, qui, ingénieur de l'Agriculture dans le cercle de Louga, lors de nos prospections, nous accompagna dans nos tournées et nous fut, à tous points de vue, de très précieux conseil.

tale, le terrain est encore sableux, mais l'élément essentiel, recouvert par une couche plus ou moins épaisse de sédiments sableux, devient la cuirasse ferrugineuse fossile qui, se généralisant davantage plus à l'Est, s'étend sur d'immenses étendues bien au delà de la boucle du Niger, au moins jusqu'aux limites de l'A. O. F.

TABLEAU 1.

Pluviométrie dans le Nord-Ouest du Sénégal (Louga).

ANNÉE	PLUVIOMÉTRIE annuelle mm.	NOMBRE DE JOURS DE PLUIE	
		en juin	en octobre
1930	297,2	4	3
1931	245,5	1	4
1932	315,4	4	1
1933	805,8	4	3
1934	256	1	3
1935	418,3	1	3
1936	412,2	4	2
1937	409,2	2	7
1938	590,8	—	4
1939	448,8	2	4
1940	549,1	3	4
1941	292	4	1
1942	239,8	0	1
1943	594,7	0	4
1944	555	5	0
1945	442	3	2

En certains points bas de la zone nord-occidentale, sous le recouvrement dunaire réapparaît ici la cuirasse ferrugineuse, souvent gravillonnaire, là, plus fréquemment, des calcaires sableux ou des marnes éocènes.

Du point de vue de la Phytogéographie, la limite entre les secteurs sahélo-soudanien et sahélo-saharien traverse cette région, au nord de Louga. La zone septentrionale est essentiellement caractérisée par une savane à *Acacia Raddiana* ou *Acacia stenocarpa* selon les pointes, la zone méridionale par une savane à *Acacia* (*Acacia stenocarpa*, ou *Faidherbia albida*) ou par une savane à *Combretum glutinosum*.

Les graminées se développent intensément dans cette savane où le peuplement forestier reste toujours clair.

Cette végétation est très dégradée par les feux et la culture, surtout dans toute la zone qui entoure, de part et d'autre, la voie ferrée Thiès—Saint-Louis, où la culture de l'Arachide est la plus ancienne et s'est le plus développé. Les stades de dégradation comportent pour les strates arborée et arbustive un grand développement, puis la dominance des *Balanites Aegyptiaca* qui accompagne l'homme et les troupeaux, *Bauhi-*

nia reticulata surtout dans le sud de cette région, *Bauhinia rufescens* qui n'est pas détruit par les troupeaux, *Guiera senegalensis* et, dans la partie septentrionale de cette zone, *Callotropisprocera*. Même dans cette zone, *Combretum glutinosum* peut dominer sur des sols un peu dégradés. Pour les graminées, après *Chloris Prieurii* et des *Andropogonées*, *Ctenium elegans*, *Schenfeldia gracilis*, puis *Cenchrus biflorus* *Aristida* et *Eragrostis* sp. Ces dernières peuvent devenir dominantes, et les strates arborées et arbustives disparaître totalement.

Les sols. — Dans cette courte note, nous n'étudierons que les sols sableux et leur dégradation. Les divers stades de cette évolution peuvent se distinguer par la couleur de leur horizon supérieur. Ainsi, à 2 km. est de Thiamène, un sol autrefois en culture, mais actuellement sous un taillis âgé de *Guiera Senegalensis* dominé par quelques Acacias, apparaît gris en surface.

Son profil est le suivant :

- De 0 à 40 cm. horizon sableux, gris, un peu humifère, plus clair à sa base, assez agrégé, même tout à fait en surface;
- De — 40 à 70 cm. horizon rouge un peu durci, dont la masse est constituée par des grains de sable, très quartzeux, liés entre eux par de l'oxyde de fer;
- De — 70 à 110 cm. horizon encore assez rouge, moins dur et moins résistant que le précédent ;
- De 110 à 150 cm. horizon sableux où l'accumulation ferrugineuse ne se fait plus que par lignes superposées.
- En dessous de 1 m. 50 le sable quartzeux beige, roche mère qui est à l'origine de ce sol.

Comme nous l'indiquons dans une autre note, sur la classification des sols du Sénégal, celui-ci appartient à la série des sols ferrugineux tropicaux, sous-série des sols lessivés sans concrétionnement du fer.

Lorsque la culture vient prendre la place de la végétation forestière, c'est, dans toute cette zone, le même type de sol que l'on observe.

A ce sol gris succède alors un sol blanc, dont l'horizon supérieur, moins épais, devient plus clair et perd son agrégation. Le reste du profil se maintient identique au précédent. A Neun-Sarr, l'horizon supérieur n'a plus que 20 à 25 cm. d'épaisseur. Par suite d'une fréquence encore plus grande de la culture, la végétation naturelle disparaît. Seuls subsistent *Guiera Senegalensis* et un faible tapis herbacé, riche en *Aristida* et *Cenchrus*. Le sol apparaît alors rouge en surface. Son profil, observé près de Louga, est le suivant :

- Sur 4 à 5 cm., un sable grossier rouge ou rosé, mobile, sans humus, et ne comportant qu'une proportion très faible de matière organique, d'ailleurs non ou très peu humifiée;
- Jusqu'à 70 cm., horizon rouge durci, compact, analogue à celui observé à Thiamène de — 40 à — 70 cm.;
- Jusqu'à — 2 m., horizon sableux, moins compact, d'un rouge un peu plus clair;
- En dessous de — 2 m., le sable quartzeux beige, semblable à celui qui constitue la roche mère des sols de Thiamène et de Neun-Sarr.

Les sols rouges du troisième type, sont les plus développés au nord de Louga, et surtout autour de la ville, et le long de la voie ferrée, ou à l'ouest et au sud-ouest de cette ville.

Les sols blancs descendent plus au sud le long de la voie ferrée de Thiès à Saint-Louis, et principalement autour des escales : Guéoul, Kébémér, Mékké, etc...

Les sols gris, non dégradés, ne s'observent qu'en s'éloignant des zones précédentes : au nord de Bambey, Diourbel, à l'est de la région de Louga, etc...

Cette répartition tient à plusieurs causes que nous ne ferons qu'indiquer :

1. Le climat plus sec dans le nord, qui rend plus précaire la réinstallation de la végétation naturelle lorsqu'une première fois elle a été détruite;

2. Les méthodes culturales utilisées, certains peuples comme les Ouoloffs ayant l'habitude de déboiser totalement, sans même laisser de haies entre les « lougans », les zones qu'ils cultivent, et n'utilisant point de bétail; d'autres comme les Cérères, protégeant certains arbres, ici Acacia blanc, là Rônier, maintenant des haies, et utilisant du bétail pour pâturer sur leurs champs les pailles qu'ils y ont laissées après la récolte. Les régions cultivées par les seconds se dégradent beaucoup moins vite que celles des premiers comme on peut le voir à l'ouest de Tivaouane, ou dans la région de Thiès, Khombole, Diourbel par exemple.

3. La proximité de la voie ferrée et des villes ou bourgs qui se trouvent tout au long et qui sont des centres de ramassage de l'arachide dont la culture s'intensifie ainsi tout alentour. C'est dans cette région de Louga à Thiès que cette culture s'est établie d'abord.

L'Érosion éolienne. — Cette dégradation des sols est due à l'érosion éolienne.

Sous l'influence de la culture, la matière organique du sol disparaît peu à peu, brûlée plus rapidement, et non renouvelée, la végétation naturelle régulièrement détruite par le coupe-coupe et le feu, et repoussant, à chaque fois, moins dense, surtout dans la partie septentrionale plus sèche.

Dans toutes ces terres l'humus est faible. De l'ordre de 2 ‰ dans les meilleurs sols, il n'est plus que de 1 à 1,7 dans les sols un peu dégradés et descend à 0,5 et 0,8 ‰ en sols très dégradés.

L'horizon supérieur de ces sols très sableux perd ainsi son agrégation. Il devient plus sec, et, par là même, la végétation qui y reprend pied est encore plus rare. Ce sol reste ainsi découvert pendant les longs mois de la saison sèche où souffle le vent du nord-est. Celui-ci entraîne les éléments fins, en augmentant ainsi relativement, comme le montre

le tableau 2, la proportion des éléments grossiers dans l'horizon de surface.

TABLEAU 2.

*Teneur en sables des sols du nord-ouest du Sénégal
en pour cent de la terre séchée à 105°.*

EMPLACEMENT	PROFONDEUR cm.	SABLE grossier	SABLE fin	ÉTAT DU SOL
Thiamène	0 à 20 200 à 210	44,9 42,8	45,1 48,5	Sol gris peu dégradé.
Neun Sarr	0 à 15 25 à 40	55,7 48,2	34,5 41,3	
École de Louga.	0 à 5 5 à 20	57,3 52,3	32,9 40	Sol blanc, dégradé.
Dune de Louga.	0 à 4 5 à 10 180 à 200	52,7 47,9 47,5	34,9 48,8 49,9	
Route de St-Louis, près de Louga.	0 à 5 10 à 20	65,5 53,5	26,5 38,1	Sol rouge, très dégr.

En certains points comme autour de Louga, le phénomène est très facilement observable, même par temps assez calme. Le sable grossier peut, comme nous l'avons souvent observé, se disposer, à la surface du sol, en lignes parallèles, disposées nord-ouest, sud-est.

La couleur de ces sols plus ou moins dégradés indique à quel horizon est parvenu leur décapage par le vent.

Le sable fin, le plus souvent, ne se déplace que sur des distances réduites et il vient constituer le sol des interdunes.

Quant au sable grossier, rose, mobile, que l'on observe à la surface de ces sols érodés, il n'est donc que le résidu des anciens horizons supérieurs — on le retrouve identique, mais en plus faible proportion dans les horizons inférieurs — et non pas, comme certains semblent l'avoir pensé parfois, un dépôt d'éléments provenant du Sahara.

L'importance pratique de ce phénomène est considérable, puisque c'est la cause essentielle de la décadence de la récolte d'arachides dans toute cette région.

On peut lutter contre, en laissant en jachère très prolongée les régions trop fortement dégradées (au nord de Louga), et en protégeant les sols encore fertiles par des haies ou des bandes de végétation naturelle brise-vents, par le maintien de certains arbres (Acacia blanc) ou l'utilisation de cultures de couverture (niébé tardif) ou en maintenant ou accroissant la teneur du sol en matières organiques (Utilisation du bétail et des engrais verts).

Tel est le sens de l'effort entrepris par l'Administration française, et, au premier chef, par les services de l'Agriculture afin de revaloriser toute cette région nord-occidentale du Sénégal (1).

Bibliographie.

- Ann. Agron.* : Annales Agronomiques. Paris, Dunod.
Ann. Sc. Agron. : Annales de la Science agronomique française et étrangère. Paris, Berger-Levrault.
Bull. A. F. E. S. : Bulletin de l'Association française pour l'Étude du sol. Paris, 3, rue de Penthièvre.
C. R. Acad. Agr. : Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France. Paris.
C. R. Acad. Sc. : Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences de l'Institut de France. Paris, Gauthier-Villars.
C. R. Cong. A. F. A. S. : Comptes rendus des Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences. Paris, Masson.
Bull. Soc. Agr. Alg. : Bulletin de la Société des Agriculteurs d'Algérie.
Ann. Inst. Agr. Alg. : Annales de l'Institut agricole et des Services de Recherches et d'Expérimentation agricoles en Algérie.
Revue Agr. Afr. N. : Revue agricole de l'Afrique du Nord. Alger.
Broch. Gouv. Gén. Alg. : Brochure du Gouvernement général de l'Algérie.
Bull. O. F. A. L. A. C. : Bulletin de l'Office algérien d'Action économique et touristique.
ARAMBOURG (C.). — Rapport du Jury sur la prime d'honneur et les prix cultureux. Départ. d'Oran, Circ. Sud 1927.
AUBERT (G.) et LEJEAILLE. — Remarques sur l'analyse mécanique des terres tuffeuses de la vallée du Chélif. (*Bull. A. F. E. S.* 1939, p. 160).
AUBERT (G.), LEJEAILLE et DRISS BOUAZA. — Observations sur les méthodes d'analyse mécanique des terres calcaires (*Ann. Agr.* 1939, p. 568).
BARBUT (M.) et CHEVALIER (G.). — Essais sur la fertilisation des cultures algériennes. 1939 (*Broch. n° 7 du Gouv. gén. d'Algérie*).
BARBUT (M.), CHEVALIER (G.) et GAUSSEREAND (L.). — Études sur la culture de la pomme de terre (1939) (*Broch. n° 12 du Gouv. gén. de l'Algérie*).
BARBUT (M.) et CHEVALLIER (G.). — Études sur l'artichaut (1941) (*Broch. n° 33 du Gouv. gén. de l'Alg.*).
BARBUT (M.), CHEVALIER (G.) et LAUMONT (P.). — La vesce avoine en Algérie (1938). (*Broch. n° 2 Gouv. gén. Alg.*).
CHEVALIER (G.). — La fumure du cotonnier (*Ann. Sc. Agr.*, 1929, p. 320).
— Études sur la culture du tabac en Algérie (*Ann. Sc. Agron.*, 1930, p. 728).
— La fumure de la tomate (*Bull. des Engrais*, avril 1933).
— La fertilisation des palmeraies de l'oued Rhir. Congrès du Dattier. Touggourt, 1933.
— La fertilisation des orangeries algériennes (1936). Syndicat algérien des agrumes. Alger.
— Dix ans d'essais d'engrais sur céréales (1936) (*Rev. Agr. Af. du Nord*).
— Les mandarines (1938) (*Broch. n° 3, Gouv. gén. Alg.*).
— La fertilisation minérale et organique des cultures algériennes (*Bull. O. F. A. L. A. C.*, 1941, p. 207 et 247).
COUSTON (F.). — Les terrains salés d'Algérie. Leur mise en valeur par le dry farming, 1912. Imp. Montégut, Alger.

(1) On trouvera de nombreux renseignements sur cette région dans J. TROCHAIN, *Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal*. Thèse, Paris, 1940. Paris, Larose, 1940.

- DALLONI (M.). — Géologie appliquée de l'Algérie. Métallogénie. Hydrogéologie, Agro-géologie. Paris, Masson, 1939.
- Algérie et Tunisie. État actuel de nos connaissances sur les sols. État de l'étude et de la cartographie du sol dans divers pays. Bucarest, Cartea Romaneasa, 1924.
- DUGAST (J.). — Agrologie, Paris, 1900.
- GALLOIS (R.). — Contribution à l'interprétation de l'analyse des terres arables au point de vue de la solubilisation de la potasse (*C. R. Cong. A. F. A. S.*, Alger, 1930, p. 632).
- GAUCHER (G.). — La plaine de Perrégaux. Observations hydrogéologiques (Serv. de la Carte géologique de l'Algérie, 1938).
- La prospection agrologique des terres arables, 1945 (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Notions de surface de sédimentation et de surface d'érosion dans la prospection agrologique des sols alluviaux (*Ann. Inst. Agr. Alg.*, t. III, déc. 1946, p. 56).
- Les dépôts quarternaires du Bas-Chélif et des Basses plaines oranaises (*C. R. Acad. Sc.*, 1947, t. 225, p. 65).
- Les sols rubéfiés et les sols à croûte du Bas-Chélif et des Basses plaines oranaises (*C. R. Acad. Sc.*, 1947, t. 225, p. 133).
- Les sols salés et les sols récents ou actuels du Bas-Chélif et des Basses plaines oranaises (*C. R. Acad. Sc.*, 1947, t. 225, p. 250).
- ISMAN (L.). — Étude des terres de l'arrondissement de Sidi-bel-Abbès, 1896. Oran.
- KILLIAN (Ch.). — Étude comparative de la biologie des sols du Nord et du Centre saharien (*Ann. Agron.*, 1940, p. 56).
- Étude de la biologie des sols des Hauts Plateaux algériens (*Ann. Agron.*, 1936 (p. 595) et 1937).
- La biologie des sols argileux des environs d'Alger et la question des plantes indicatrices. Essai de micropédologie (*Ann. Agron.* 1939, p. 93 et 269).
- KILLIAN (Ch.) et FEHER (D.). — Recherches sur les phénomènes microbiologiques des sols sahariens, 1^{re} et 2^e parties. Encyclopédie biologique. T. XXI, Paris, Lechevalier, 1939.
- Recherches sur les phénomènes microbiologiques des sols sahariens (*Ann. Inst. Pasteur*, 1935, p. 573).
- MAMAIN. — La région des primeurs du Littoral d'Alger. Alger Typo-Litho et J. Carbonnel, 1939.
- MANQUÈNE (J.). — L'Oranie et ses ressources agricoles. Heintz, Oran, 1930.
- La plaine du Chélif et les grands barrages.
- Eau et terrains chlorurés (Congrès de l'eau, Alger, 1930).
- MANQUENE (J.). — Contribution à la mise en valeur de la plaine du Chélif par l'irrigation. Alger, 1935.
- Les terrains salés du bassin du Chélif. Alger, 1935.
- Les terrains salés de l'Algérie occidentale (*C. R. Cong. A. F. A. S.*, 1930. Alger, p. 701.)
- La plaine d'Oran et la grande Sebkhah (*Bull. O. F. A. L. A. C.*, déc. 1933-janv. 1934).
- POUGET, CHOUCHEK et LEONARDON. — Agrologie du Sahel (Université d'Alger).
- POUGET, AMALRIC et LEONARDON. — Esquisse agronomique et agrologique de la région de Sétif. 1922. Université d'Alger.
- RIKVINO. — Étude des terres du Sahara (*Arch. Inst. Pasteur d'Algérie*, 1929, p. 88).
- ROSEAU (H.). — Étude sur les variations des taux d'humidité et des chlorures dans les palmeraies de l'oued Rhir et des Ziban (Congrès du Dattier. Touggourt, 1933).
- Rapport du Jury sur la prime d'honneur et les prix culturels. Départ. d'Alger Circ. Sud. 1934.
- Étude du comportement des engrais en cases lysimétriques (1934-1935) (*Bull. Soc. Agr. Alg.*)
- Les conceptions actuelles pour l'étude du sol (1936). G. Charry, Alger.
- Sols de l'est Mitidja et caractéristiques du type « Terre franche » sous le climat algérois (*C. R. Acad. Agr.*, 1939, p. 835).

- ROSEAU (H.). — Les sols d'orangeries. Technique des irrigations (1936). Syndicat algérien des agrumes. Alger.
- Quelques observations sur les régions agricoles de la circonscription d'Alger-Nord (1937) (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Les amendements calciques (1939) (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Étude du sol au point de vue physique (1939) (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Importance de la constitution physique des terres au point de vue de leur valeur culturale (1940) (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Essais d'engrais sur céréales en cases lysimétriques en 1936-1937 et en 1937-1938 (*Ann. Inst. Agr. Alg.*).
- Étude agrologique sommaire des parcelles d'expériences. Contrôle de l'homogénéité du sol.
- Problèmes d'Agrologie Nord-Africains. 1945 (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- Relation entre les variations de la température du sol et le drainage (*C. R. Acad. Sc.* 1947. T. 225, p. 320).
- ROSEAU (H.) et GAUCHER (G.). — Mise en valeur des terres à texture délicate et des terrains salés. 1941 (*Bull. Soc. Agr. Alg.*).
- ROSEAU (H.) et BATS (J.). — Étude comparative des différentes méthodes d'analyse physique des terres calcaires (*Ann. Inst. Agr. Alg.*).
- SIROT et GAUCHER (G.). — La culture des primeurs en terre sèche sur le littoral algérois (*Ann. Agron.*, 1936, p. 427).
- VILLAR (E. H. Del). — Un premier aperçu sur les sols de l'Algérie (*Bull. A. F. E. S.*, 1939, p. 30).
- Types de sol de l'Afrique du Nord (fasc. 1). Rabat, 1947.

CONDITIONS ÉDAPHIQUES CHEZ LES PLANTES DES PÂTURAGES STEPPIQUES ALGÉRIENS

Par Charles KILLIAN.

Professeur à la Faculté des Sciences (Alger).

Les steppes des hauts Plateaux algériens sont connues pour leur grande monotonie floristique : l'*Alfa* (*Stipa tenacissima*) y occupe généralement les crêtes, le Chih (*Artemisia herba alba*) les bas-fonds, l'espace intermédiaire étant colonisé par le Senagh (*Lygeum Spartum*). Mais une étude plus attentive m'a montré que ces associations sont plus complexes et qu'elles peuvent constituer une véritable mosaïque, déterminée uniquement par les micro-conditions édaphiques.

C'est en hiver et au printemps, donc au moment des grandes pluies, que s'effectue le modelage de leur substratum. D'importantes quantités de détritiques sont charriées par les ravineaux dans les bas-fonds où elles constitueront d'épaisses couches argileuses. En été, au contraire, prédomine le transport du matériel éolien qui ensuite sera brassé avec le matériel alluvial.

L'alluvionnement d'une part et l'extension des associations végétales de l'autre, ont été étudiés pour les pâturages prédésertiques de Tadmit, mis en défens, et par conséquent, soustraits à l'action perturbatrice du pacage.

Dans une des cuvettes, la daïa Terchoucha, j'ai repéré une variété étonnante de sols qui s'explique par leur diversité géologique et par leur origine pédologique.

En bordure de cette cuvette, où affleurent les bancs de l'urgo-aptien, j'ai trouvé ainsi des sols très perméables, bien aérés, renfermant une moyenne de 80 % de sable, faiblement hygroscopiques ($< 2\%$), avec peu de CaO ($< 3\%$), de MgO et de SO₃ ($< 1\%$) et toujours moins de 20 mg % de Cl; ils se couvrent d'une association pure de *Stipa tenacissima* et abritent, en outre, une flore xérophile de rocailles, mais relativement peu d'espèces annuelles, abondantes que par années humides.

Vers le bas ces associations sont relayées par le *Lygeum spartum* qui supporte des sols plus limoneux (jusqu'à 26 % de particules à 0,5—0,005 mm), plus calcaires (10,5 % de CaO) et plus sulfatés ($> 1\%$) mais pas plus chlorurés; généralement ces limons sont ameublés en surface par du sable éolien. Le *Lygeum* envoie ses avant-postes sur les

couches imperméables du crétacé où le gypse affleure déjà à 5 cm. Mais une trop grande richesse en MgO (5,2 %) et en SO_3 (11,5 %) finit par en arrêter l'extension, ou, du moins, en réduire considérablement la taille.

L'aire de *Lygeum* est morcelée, en outre, par la formation des ravineaux de pluie caractérisés par un sol plus meuble, l'une avec un pourcentage moyen en limon (15 %), absence de sable éolien, hygroscopicité supérieure à 3 % et un taux de CaO dépassant 10 %; c'est l'*Artemisia herba alba* qui s'y installe; là où augmente l'état de dispersion (19 % d'argile) apparaît l'*Artemisia campestris*.

J'insiste expressément sur le fait que tous ces chiffres granulométriques n'ont pas de valeur absolue. A d'autres stations *A. campestris* peut végéter sur des sols beaucoup plus sablonneux. Mais ce sont toujours les endroits relativement plus limoneux ou argileux qui le sélectionnent par rapport aux espèces à psammophilie plus prononcée.

L'une et l'autre armoise, lorsqu'elles envahissent les terres argileuses du centre de la cuvette où le pourcentage de sable diminue à 35 %, se trouvent en compétition avec le *Salsola vermiculaba*. Elles peuvent l'évincer en année humide, par leur accroissement plus rapide. Mais cette Salsolacée prend le dessus près des affleurements de gypse dont elle tolère la salure si elle est moyenne (14 % de SO) et la forte compacité (48 % d'argile); elle sera remplacée, à son tour, par les espèces plus gypsophiles et spécialisées.

En ce qui concerne ces espèces gypsophiles, leur adaptation aux pourcentages plus ou moins élevés de $CaSO_4$ est finement nuancée. Citons comme exemple le *Plantago albicans* facultativement gypsophile, qui supporte 13,9 % de SO_3 , 16 % de CaO et 1,7 % de MgO sur un sol contenant 54 % de limon, moyennement hygroscopique (6 %). Lorsque la terre devient plus légère, par l'incorporation de sable (55 %), il cède la place à une Graminée annuelle, *Schismus barbatus* qui colonise les alluvions peu profonds, sans redouter le voisinage proche du gypse, imperméable, avec 30 % de SO_3 et 3 à 4 % de MgO et une hygroscopicité de 5,2 %.

Tous ces terrains compacts parce que gypsifères, sont donc occupés par quelques rares spécialités, tels *Lepidium subulatum*, *Atriplex parvifolium* et *Herniaria mauritanica* qui supportent jusqu'à 63 % de limon, d'une hygroscopicité atteignant 6 % et qui renferment 16,1 % de SO_3 , 19,5 % de CaO , 5 à 6 % de MgO , mais 96 mg % seulement de Cl , donc pas plus qu'ailleurs.

D'après l'ensemble des résultats que je viens d'exposer, il ne subsiste pas le moindre doute que la teneur plus ou moins forte en gypse et en sels magnésiens de nos sols exerce sur nos associations végétales un rôle nettement sélectionnant, le taux des chlorures, rarement en excé-

dent, ne pouvant, dans notre daïa du moins, entrer en ligne de compte.

Je me suis demandé, inversement, quelle est la réaction de nos plantes à la nature de leur substratum. La composition de leurs cendres reflète-t-elle la composition minérale de leurs sols?

On peut répondre à cette question par l'affirmative pour certaines plantes, exclusivement gypsi-*col*es, telles *Lepidium subulatum*. Ici, le pourcentage des cendres, supérieur à 30 %, renferme jusqu'à 47 % de solubles. Le taux des sulfates peut dépasser 3 %, celui du CaO 10 %. Au contraire le taux du Cl mais aussi celui du MgO se tient en dessous de 1 %.

Des valeurs relativement élevées pour le CaO et le SO₃ ont été retrouvées pour une plante facultativement gypsi-*col*e le *Plantago albicans* où j'ai dosé un taux aussi élevé que 5 % de CaO, et 4 % de SO₃; celui des chlorures peut dépasser 1 %, le taux des cendres étant de 18 % dont 31 % de solubles.

Schismus barbatus, Graminée annuelle qui colonise les couches minces d'alluvions supra-gypseuses, au contraire, est peu influée par le voisinage du gypse. Le taux de ses cendres est de 20 %; le pourcentage de ses anions et cations (CaO = 1 %, SO₃ 0,8 %, MgO 0,8 %, Cl 0,1 — 0,4 %) est uniformément bas et seul le CaO atteint 4,9 % lors de son jaunissement en avril; le pour cent du K₂O qui était de 1,8 % chez la plantule, baisse, corrélativement à 0,4 %. Mais dans ses cendres (20 %) la fraction insoluble domine nettement (93 %) vis-à-vis de la fraction soluble.

A côté du type obligatoirement gypsi-*col*e tel *Lepidium* mais poussant sur le même terrain se trouve le type halophytique tel *Atriplex parvifolius*. Il renferme également, pour un taux élevé de cendres (24 %) et un excédent de sels solubles (64 %), un important excédent de chlorures (6 %) et parfois de MgO (2,4 %). Par contre sa teneur en CaO et en SO₃ tombe à 2,1 et 1,6 % respectivement.

Le prototype des Halophytes, le *Salsola vermiculata*, qui évite les sols très gypseux a en commun, avec les précédents, une forte teneur en cendres solubles dont le pourcentage dépasse 50.

Son pourcentage en CaO peut s'élever à 2,8, celui du SO₃ à 2,4; mais tous ces chiffres sont très variables, notamment ceux des chlorures qui vont de 0,7 à 1,07 et 2,5 %. De toute façon il y a indépendance du milieu pour les chlorures aussi chez *Halogeton sativus*, Halophyte annuel des stations graveleuses non salées; il peut renfermer ici jusqu'à 83,8 % de cendres solubles et présente le chiffre énorme de 4,5 % de chlorures.

Cette indépendance de la composition du milieu des anions et des cations, chez la plante, caractérise en principe toutes les Graminées, par exemple le *Lygeum spartum*. Qu'il s'agisse de stations gypseuses ou non, le taux de ses cendres tombe à 6,7 % dont 27 % seulement de solubles. Ces chiffres, de même un taux en dessous de 1 % pour CaO et

SO₃ se rencontrent d'ailleurs fréquemment chez d'autres espèces non gypsicoles, par exemple des Graminées pérennes (*Cynodon dactylon*) et des Graminées annuelles telles *Stipa tortilis*. On les retrouve chez une Légumineuse, *Medicago littoralis*, mais ici le taux du CaO et du SO₃ peut atteindre de 2 à 3 %.

Je n'insiste pas sur toutes les autres espèces caractérisées souvent par une diminution importante des cendres solubles (6,1 % chez *Artemisia Herba alba*) mais qui sont, très souvent, de 25 %. Seul le taux du CaO dépasse partout 1 à 2 %.

Cependant, l'espèce la plus éloignée des gisements gypsifères, *Stipa tenacissima* Graminées est caractérisée par le taux minimum en CaO (0,5 %), SO₃ (0,8) et Cl (0,9 %).

MÉTHODES ACTUELLES D'ÉTUDE DES TERRAINS SALÉS EN AFRIQUE DU NORD

Par G. GAUCHER.

En service détaché à l'École Nationale d'Agriculture d'Algérie.

L'abondance des terrains et des eaux salés en Afrique du Nord est un fait trop connu pour qu'il soit nécessaire d'insister sur l'étendue des conséquences agricoles et sur l'importance économique des techniques de dessalement. Souvent, dès qu'une partie des sels toxiques a été éliminée, la terre montre une grande fertilité et ainsi s'explique l'entêtement avec lequel certaines populations rurales s'attachent à des régions envahies par la salure. Mais fréquemment aussi, après une amélioration légère apportée par des travaux divers, les espérances des agriculteurs sont déçues devant une nouvelle recrudescence des manifestations du sel. Ce dernier accident provient presque toujours *d'une étude insuffisante des causes de salure de la région intéressée*. Le plus souvent, en effet, cette salure résulte de la conjugaison de plusieurs facteurs naturels et la situation ainsi créée n'est élucidée qu'avec difficulté : quand on observe une nouvelle extension du phénomène, on constate qu'un facteur important avait été ignoré et qu'on ne s'était pas prémuni contre lui. L'étude des régions agricoles salées comporte, en gros, des opérations de deux catégories : la prospection sur le terrain et les recherches en laboratoire.

Je me propose surtout d'exposer les techniques de prospection des terrains en citant divers exemples qui justifient leurs modalités. Mais, si, en Afrique du Nord, une méthode d'étude des terrains donnant des résultats satisfaisants a pu être dégagée, par contre les recherches relevant surtout de la chimie agricole se trouvent relativement en retard.

I. — ORIGINE DE LA SALURE DES TERRES.

On a souvent évoqué l'intervention de l'eau de mer pour rendre compte de la salure d'une terre. Cette explication ne vaut, en Afrique du Nord, que pour un nombre de cas très restreints. On citera sans doute comme exemple d'une salure d'*origine marine* des terres situées dans les basses plaines littorales et récemment gagnées sur des marécages périodiquement envahis par la mer ; on citera aussi des terrains irrigués avec de l'eau imprudemment pompée dans des estuaires et une cote inférieure au niveau marin (Mazafran, Hamiz).

Mais il ne s'agit là que de cas d'espèces relativement peu nombreux. Le cas général, au contraire, est représenté par des zones de plusieurs milliers d'hectares de terres salées et dont la salure est d'*origine continentale* (8), (10).

Les facteurs qui provoquent la salure sont précisément ceux qui fixent les caractères géographiques principaux des régions naturelles. Cette considération explique l'insuffisance d'une étude pédologique limitée à la typologie des sols ou bien d'une étude agrologique portant sur les techniques culturales jugées convenables.

Pour conduire à une amélioration réelle et durable, une prospection agronomique bien faite de terrains salés doit indiquer :

- 1° L'origine exacte de la salure;
- 2° Les causes et le mécanisme de son extension;
- 3° Sa nature, c'est-à-dire les différents composés salins dont l'ensemble est désigné par l'expression de « salant ».

II. — ÉTUDE GÉOLOGIQUE DES TERRAINS SALÉS.

Les facteurs géologiques doivent être étudiés en premier lieu car ils révèlent l'origine première des sels toxiques.

L'étude stratigraphique indique la présence des affleurements salifères dans la région examinée, elle établit donc la première présomption de salure.

L'étude tectonique détermine l'agencement réciproque des couches, la localisation des amas de sel par rapport au relief, les conditions hydrologiques dans lesquelles leur diffusion et la contamination des terrains peuvent être opérées. Mais elle permet surtout de déceler la présence possible de pointements salés dissimulés sous une mince couverture de dépôts superficiels.

Les observations faites en Afrique du Nord montrent que l'accumulation des sels solubles, chlorures ou sulfates, dans divers étages de la série stratigraphique résulte, pour la grande majorité des cas, soit d'épisodes lagunaires soit de mouvements tectoniques; ces derniers remanièrent les gisements salés préexistants et en imprègnèrent les sédiments déposés pendant les phases orogéniques. Il est rare de trouver des circonstances dans lesquelles la salure des terres soit causée par les manifestations posthumes de phénomènes volcaniques ou par une activité filonienne (8); pourtant il est des cas, dans le Sud marocain notamment, où cette origine peut être invoquée pour expliquer la présence du salant.

a) Stratigraphie.

Au cours de l'exploration géologique de l'Afrique du Nord, les principales couches salifères furent repérées et signalées. Le *gypse*, plus

visible et plus constant que le chlorure de sodium et que les autres sels l'accompagnant normalement, a plus facilement été remarqué. Une liste des étages gypsifères a donc pu aisément être établie en réunissant les observations des géologues qui parcoururent le pays (28), (4). En raison de l'association pratiquement constante du gypse et du sel, on est en droit d'admettre que *tout gisement de gypse est suspect d'être plus ou moins salé*.

Les principaux terrains gypsifères sont :

Le *Trias* dans toute l'Afrique du Nord, sauf peut-être dans l'extrême sud tunisien;

L'*Albien* sur les hauts plateaux constantinois;

Le *Cénomanién* sur les hauts plateaux algériens;

Le *Turonien* sur les hauts plateaux constantinois;

Le *Santonien* sur les hauts plateaux algériens;

Le *Sénonien supérieur* dans le sud constantinois et en Tunisie;

L'*Eocène inférieur*, *Suessonien* des géologues nord-africains, dans l'Atlas Tellien et sur les hauts plateaux;

Le *Lutétien* dans le sud algérois, constantinois et en Tunisie;

L'*Eocène supérieur*, facies *Bogharien*, dans le département d'Alger;

L'*Oligocène continental* dans tous ses affleurements;

Le *Cartennien* en bordure de l'Atlas Mitidjien et dans le département de Constantine;

L'*Helvétien* dans la vallée du Chélif et les basses plaines oranaises;

Le *Vindobonien* dans le bassin de Constantine et en Tunisie;

Le *Sarmatien* dans le bassin de Constantine et en Tunisie;

Le *Sahélien* dans la partie littorale de la province d'Oran et du Maroc oriental;

Le *Pontien* dans le département de Constantine;

Le *Pliocène continental* dans les bassins fermés des hauts plateaux et du sud;

Le *Quaternaire* dans les plaines littorales, les basses plaines oranaises en particulier, les dépressions fermées des hauts plateaux et du Sahara.

Cette liste n'est évidemment pas restrictive. A part le *Trias*, qui met presque toujours en éveil la vigilance de l'agronome, les terrains qui sont particulièrement à retenir parce qu'ils se montrent plus régulièrement chargés de gypse et de sel sont l'*Oligocène continental*, le *Sahélien* et les dépôts de Sebka et de Chott du *Quaternaire* (14).

Cette énumération ne comprend que les étages où l'on trouve des affleurements gypso-salins avec leur cortège habituel de sels accessoires (Mg Cl^2 , $\text{SO}^4 \text{Na}^2$, Ca Cl^2 , etc.). D'autres composés salins se rencontrent parfois, les fluorures notamment, mais leur action nocive sur la végétation ne paraît pas avoir été mentionnée en Afrique du Nord. Quant aux borates, dont la présence et l'influence souvent néfaste sur les végétaux

cultivés ont fait l'objet d'études dans divers pays, ils ne semblent pas non plus y avoir donné lieu à des observations particulières.

L'intervention des sédiments salifères dans la salure des terres de culture peut s'exercer de deux façons différentes.

Parfois ces terres proviennent du remaniement *in situ* de l'affleurement géologique : les sels toxiques n'ont pas été complètement éliminés au cours de la transformation de la roche en sol.

Beaucoup plus souvent, le salant est transporté par les eaux, eaux de ruissellement ou eaux de nappe, depuis la couche salifère jusque dans les terrains cultivés ; *ainsi un affleurement de surface réduite peut contaminer toute une région*. Les agriculteurs expriment quelquefois l'origine différente de la salure en disant qu'elle vient « de la terre » ou de « l'eau ».

b) *Tectonique.*

Les dépôts gypso-salins, d'âge *triasique* en particulier, ont donné naissance à une tectonique spéciale qui a fait l'objet d'études attentives dans tous les pays. La description des « plis diapys », des « dômes à noyau de percement » et des autres formes spéciales de cette orogénie n'entre pas dans le cadre de cet exposé. Mais, lorsqu'il prospecte une région salée, l'agronome ou le pédologue *doit obligatoirement reconnaître la morphologie d'un relief qui comporte des éléments gypso-salins*. Il doit être capable de pressentir les zones où se localisent d'ordinaire leurs affleurements visibles et leurs pointements cachés. Ce sont généralement les parties faibles de l'écorce terrestre, les lignes de contact entre deux systèmes orogéniques différents, les points où s'articulent des plissements de direction différente, les pourtours des écailles et, en général, les contours des contacts anormaux, enfin les failles de toute importance. L'Afrique du Nord, et l'Algérie notamment, offre de multiples exemples de ces localisations de pointements salifères.

Certains méritent d'être cités.

Sur les hauts plateaux constantinois, les chotts et les sebkas, d'origine triasique pour la plupart, s'alignent sur la charnière du domaine atlasique plissé au nord et du domaine tabulaire au sud (Sebka Bazer en particulier) (12).

Vers la terminaison orientale du Dahra, dans la région de Cherchell, les pointements triasiques jalonnent les lignes de contacts anormaux des écailles de plissement (36).

En Oranie, entre Relizane et Perrégaux, des anticlinaux à noyaux gypso-salins, d'âge triasique surtout mais aussi sahélien, marquent la zone où le même Dahra se dessine comme un faisceau de plis orienté différemment de l'Atlas Tellien dont il se détache (16), (37, 38, 39, 40).

Enfin les failles qui affectent le Massif de Miliana, sur son pourtour

ou dans sa partie centrale, font apparaître sur les mêmes alignements, selon la profondeur intéressée, soit la roche éruptive, soit le Trias, soit des sources travertineuses, émissaires des nappes profondes (41, 42, 43). Cette observation souligne l'importance du rôle hydrologique des failles et ses conséquences dans la diffusion du sel (8). D'autres remarques relatives à la même question seront d'ailleurs mentionnées ultérieurement.

D'une façon générale les cartes géologiques d'Algérie, notamment les feuilles au 1/50.000, indiquent fidèlement les dépôts triasiques et sont d'un grand secours dans la prospection des terrains salés. Par ailleurs, des directives d'un ordre beaucoup plus général sur les divers modes d'affleurement du Trias peuvent être déduites du style tectonique ou de l'histoire géologique des différents domaines orogéniques du pays, mais ces considérations sont trop spéciales pour avoir leur place ici (8).

Le Trias constitue évidemment le terrain le plus régulièrement gypso-salin, il a fourni des exemples classiques de formes tectoniques typiques et de phénomènes de salure des terres et des eaux. Mais ces caractères ne lui sont pas particuliers, ils accompagnent avec des degrés d'intensité variables, et en général moindres, tous les terrains gypso-salins quel que soit leur âge.

Le géologue BRIVES a décrit les décrochements, les failles et les résurgences qui sont associés aux anticlinaux à noyau gypso-salin d'âge suessonien. Il apparaît bien qu'une tectonique spéciale, la *tectonique du gypse*, exprime la présence des formations gypso-salines plissées d'âges divers, et qu'elle constitue l'indice de risque de salure dans la région qu'elle intéresse (2).

Il est évident que le prospecteur de la région salée doit passer de l'étude de la *tectonique* à celle de la *structure*. Les recherches s'opèrent différemment selon que la région étudiée est un bassin fermé, une plaine entourée de montagnes, un plateau, une vallée, une côte basse, etc... Certaines manifestations de la salure accompagnent plutôt telle ou telle forme du relief : il existe une *géographie des terrains salés*. Il est pourtant une règle générale à suivre au cours de la prospection : *l'étude des bassins versants, des montagnes, des collines ou des crêtes, doit toujours précéder celle de la région dominée dans laquelle les eaux et les sédiments vont s'accumuler*.

III. — ÉTUDE HYDROLOGIQUE DES TERRAINS SALÉS.

L'eau est indiscutablement le grand agent de diffusion ou d'élimination du sel : la salure vient de « l'eau » bien plus fréquemment que de « la terre ». Tous les phénomènes d'extension ou de régression des surfaces salées se ramènent à des variations survenant dans le régime de la pluviométrie, dans celui des nappes phréatiques ou profondes, ou bien

encore, pour les régions irriguées, à des modifications apportées aux techniques d'arrosage.

a) L'exemple de la région de Miliana, les observations de BRIVES, montrent comment les eaux profondes peuvent intervenir, d'autres exemples peuvent être notés (8). Il est opportun, je crois, de rappeler ici le passage d'Hérodote où se trouvent cités tous les points d'eau de la route de Libye aux colonnes d'Hercule : « chaque source importante d'eau potable est située à proximité d'un gisement de sel » (Hérodote, livre IV, chapitre CLXXXI et suiv.).

b) Mais ce sont en général les eaux phréatiques qui agissent le plus sur les mouvements du salant et elles sont surtout influencées par la pluviométrie : l'étude des basses plaines oranaises montre que les années à fortes précipitations pluviales précèdent toujours une nouvelle progression des surfaces salées.

Dans la plaine de Perrégaux des extensions importantes de la salure ont été constatées par les agriculteurs à la suite des pluies abondantes et violentes qui provoquèrent les inondations de 1890 et surtout de 1881, de 1900 et de 1927 (7) (10). D'ailleurs les nombreux auteurs qui s'intéressèrent à cette région du Tell oranais notèrent que les progrès particulièrement sensibles de la salure étaient consécutifs à des années anormalement pluvieuses, parfois une aggravation du phénomène était constatée à la suite de sécheresse (5, 33, 19, 20, 21, 22, 23, 24). A l'heure actuelle la plaine de Perrégaux subit encore un régime hydrologique créé par les inondations de 1927 à la suite desquelles la salure s'étendit considérablement. Des améliorations locales furent observées au cours des années pendant lesquelles les pluies alternèrent avec des périodes de beau temps : les eaux pouvaient s'écouler aussi rapidement que les précipitations avaient lieu (1938-1939). Par contre, un orage qui entraîna une chute de 73 mm pendant les journées du 1^{er} et du 2 octobre 1940, provoqua un certain dessalement en quelques points mais aussi une remontée notable du salant dans les bas-fonds. On parvient ainsi à la notion des pluviométries « bienfaisantes » ou « dangereuses » (10) (11).

A Relizane, on a constaté périodiquement une remontée du plan d'eau après les précipitations pluviales importantes qui amenèrent des crues de l'oued Mina : 1904, 1928, 1943. Le phénomène fut régulièrement observé au cimetière européen de Relizane (16). Les terrains salés s'agrandirent chaque fois. L'inondation de l'hiver 1903-1904 fut particulièrement néfaste. Elle entraîna un exhaussement du plan d'eau de l'ordre de 2 m 50; c'est de cette époque que date l'extension généralisée de la salure, notamment dans la région de Chantrit (1), (16).

Des observations absolument concordantes furent faites dans la région de Saint-Denis-du-Sig. Les inondations « périodiques » de 1885, 1890, 1900 et 1903 furent suivies d'une progression de la salure. A Saint-

Denis-du-Sig également l'hiver 1903-1904 marque l'apparition persistante, définitive, du sel dans des zones où jusque-là les agriculteurs avaient pu s'en défendre (17), (26).

Enfin, dans la plaine d'Inkermann et de Saint-Aimé les manifestations les plus nettes de la salure apparaissent dans les secteurs où il existe une nappe phréatique peu profonde, entretenue par des résurgences non salées, et dont l'eau se sale progressivement au contact des alluvions argileuses bourrées de nodules gypso-salins. Ces manifestations se sont encore accentuées à la suite d'une crue du Chélif et de ses affluents survenus en 1938 (13).

Donc dans toutes les grandes régions salées des départements d'Alger et d'Oran les faits observés et ceux rapportés par la tradition concordent parfaitement; *ils montrent, d'une façon péremptoire, l'importance de l'hydrologie ainsi que l'influence des fortes pluies survenant brutalement et des inondations dans les phénomènes d'extension des surfaces salées.*

Le mécanisme intime de cette extension peut s'effectuer suivant deux modes légèrement différents.

Les eaux du sous-sol se chargent progressivement de sel au contact des dépôts quaternaires à « facies de fond de Sebka » (10). Pendant les années de forte pluviométrie les nappes salées reçoivent l'appoint des eaux de ruissellement, des eaux de crue et éventuellement, à plus longue échéance, des eaux de nappes non salées. Le volume des nappes est ainsi augmenté sans que l'abaissement de salure résultant de la dilution soit bien sensible ni durable car ces régions présentent des pentes très faibles, l'écoulement se fait très lentement et le sel des sédiments diffuse dans les eaux. L'extension des surface salées traduit l'augmentation du volume des nappes (16).

Mais il arrive aussi que la pluviométrie agisse sur le débit des sources salées existant dans les terrains salifères. Le fait est très net à Perrégaux : on trouve, sur la bordure méridionale de la plaine, de nombreuses sources salées dont les apports augmentent notablement après les années pluvieuses : leurs eaux dévalent vers la plaine où elles s'accumulent et s'infiltrant (7).

Ces observations conduisent à penser que les dépôts salifères d'âge quaternaire à « facies de fond de Sebka » ont dû se former sous un climat plus humide que l'actuel et à saisons alternantes (14).

c) La méthode d'observation des cours d'eau et des nappes que nous avons adoptée et appliquée dans les basses plaines oranaises s'inspirait de ces constatations. Elle fut d'abord utilisée à Perrégaux puis étendue à Relizane, au Sig et à Inkermann.

Elle comporte d'abord une visite des principaux points d'eau de la région, sources, puits, etc... avec prélèvement d'échantillons, relevé de la température des eaux et de leur niveau piézométrique, dosage des

chlorures et, dans certains cas, dosage de la totalité des anions et des cations. Enfin diverses observations d'ordre qualitatif étaient notées. On parvient à définir ainsi les caractéristiques de certaines eaux afin de pouvoir les reconnaître et de dresser des cartes des nappes. Cette visite, répétée plusieurs années consécutives, permet de se faire une idée approximative du régime des eaux.

Des « puits d'observation » furent creusés et aménagés là où les renseignements les plus intéressants pouvaient être recueillis et où il n'existait aucun point d'eau. Des prélèvements furent également faits sur les oueds, les chabets (1) et les drains, ils furent accompagnés de jaugeage chaque fois que ce fut possible. *Ils furent effectués mensuellement.*

En plus de cette tournée mensuelle, une visite supplémentaire suivait en général la manifestation des phénomènes susceptibles d'apporter brutalement une modification à l'état des eaux : orages, pluies, inondations.

Parfois certains résultats sont intéressants par eux-mêmes, mais le plus souvent seule la série des résultats analytiques et des observations permet d'être édifié sur le point étudié, de même qu'en météorologie un chiffre isolé n'a guère de valeur. Fréquemment, les observateurs sont découragés par la nécessité de procéder avec *régularité* à un *nombre élevé de prélèvements* mais le succès n'est acquis qu'à cette condition.

En outre, il faut noter que l'étude des eaux phréatiques exige parfois une certaine connaissance des terrains quaternaires qu'il n'est pas toujours aisé d'acquérir.

Les observations les plus régulières, les plus nombreuses et les plus consciencieuses ont été effectuées dans la plaine de Relizane. En faisant la synthèse des renseignements d'ordre géologique et des constatations hydrogéologiques, j'ai pu dresser « une carte des facteurs de salure de la plaine de Relizane » (16). Ce document cartographique exprime les « causes de salure » ou, si l'on veut, la salure « en puissance » des terres ; il permet d'expliquer ou même de prévoir une remontée de sel ou une extension des surfaces salées.

Un travail analogue sera entrepris prochainement pour la plaine de Perrégaux et du Sig.

IV. — ÉTUDE CHIMIQUE ET MINÉRALOGIQUE DE LA NATURE DU SALANT.

On a pensé pendant longtemps que la mise en valeur d'une région agricole salée était au fond une chose assez simple. Les premiers travaux de dessalement étant accomplis, il suffisait, estimait-on, de prélever un certain nombre d'échantillons, d'y doser les chlorures, de faire ainsi

(1) Chabets : ravins dans lesquels s'écoulent des eaux de ruissellement.

une « carte des chlorures » de la région et de pratiquer dans chaque zone les cultures compatibles avec la teneur en sel du sol et du sous-sol.

Cette conception est un peu trop simpliste et l'on constate d'ailleurs que toute tentative d'utilisation de terrains salés conduite selon ces idées n'amènera, en fin de compte, que des déboires. Je ne veux pas dire que les cartes de salure des terres soient complètement inutiles, elles ont l'avantage d'*indiquer les zones d'accumulation du salant*. Mais le chiffre qui donne la teneur en chlorures d'une terre, teneur exprimée en chlorure de sodium, doit être *interprété* si l'on veut connaître sa *portée agricole*.

L'expérience montre d'abord que la teneur en chlorures d'une terre n'est pas toujours fixe, elle est au contraire capable de varier et parfois notablement, sous l'effet de divers facteurs : mouvements de la nappe phréatique, pluies, arrosages, travaux aratoires, etc... (10).

D'autre part, l'expression de la salure en « chlorure de sodium » crée un malentendu car elle est bien loin de traduire toujours la nature réelle du salant (15). Les différents sels toxiques du sol ne sont pas également nocifs et cette toxicité spécifique peut encore être augmentée ou réduite par la présence dans le même milieu d'autres composés. Ces problèmes de toxicité, d'antitoxicité et d'antagonisme des ions ont bien été étudiés par divers physiologistes mais il n'est guère possible de déduire de leurs travaux des *données quantitatives* applicables à l'Agriculture (3), (25). Leurs conclusions se résument à des indications générales : on sait, par exemple, que le chlorure de magnésium est beaucoup plus toxique que le chlorure de sodium, que le gypse exerce un certain pouvoir antitoxique. Mais même sous cette forme qualitative ces indications rendent de grands services dans l'appréciation de la valeur agricole d'une terre.

On a intérêt quelquefois à connaître les proportions relatives de magnésium et de sodium contenues dans un même milieu chloruré ou bien les teneurs en ions SO_4 et Ca associées aux ions Cl et Na. On peut pratiquer dans ce cas une analyse complète des eaux d'arrosage, de drainage, de la nappe phréatique ou bien de la solution provenant du lessivage de la terre; on dose les anions CO_3 , SO_4 , Cl et les cations Ca, Na, Mg (15). Ces analyses sont délicates et longues, surtout lorsqu'il faut laver un sol argileux. On doit noter aussi que les équilibres ioniques ainsi déterminés sont susceptibles de varier par suite du phénomène d'échange de bases; le fait se produit parfois lorsque la salure est apportée à la terre par l'eau d'irrigation ou par la nappe phréatique dont la composition se modifie, au cours de leur trajet, au contact des terres.

Ces analyses chimiques complètes du milieu ne peuvent être appliquées, d'une façon systématique, à tous les prélèvements d'une région, mais elles interviennent très utilement pour éclairer certains cas sus-

pects ou mal définis que l'on veut approfondir. Les explications restent pourtant toujours dans le domaine du qualitatif, pour qu'il en fût autrement il faudrait qu'une série d'expériences nous eussent fait connaître, par exemple, comment varie l'action toxique d'un milieu chloruré pour des valeurs différentes du rapport Na/Mg.

Pour dépister la présence de composés salins autres que le Cl Na, on tiendra compte aussi de diverses propriétés minéralogiques des principaux chlorures ou sulfates rencontrés dans le sol : aspect et goût des efflorescences salines (amertume des composés magnésiens), caractéristiques optiques de certains cristaux (gypse), etc... On notera aussi la présence de composés hygroscopiques qui font foisonner le sol et lui donne un aspect farineux particulier, même quand il est argileux. Ce foisonnement passe pour être caractéristique du *salant magnésien* (Mg Cl^2). C'est en général exact mais il accompagne aussi le chlorure de calcium, qui est bien moins toxique, et le sulfate de magnésium sur la toxicité duquel on n'est guère fixé. On se méfiera enfin de certaines conjonctures géologiques telles que le contact de calcaires ou de marnes dolomitiques avec des eaux chlorurées.

La présence du salant noir, le carbonate de soude, est aussi très difficile à mettre en évidence. Jusque-là il n'a pas été caractérisé d'une façon formelle dans la partie tellienne ni sur les hauts plateaux de l'Afrique du Nord. Rarement des pH suffisamment élevés ont été rencontrés. Pourtant quelques indices, notamment la coloration brunâtre donnée à certaines eaux par les matières organiques, inciteraient à admettre qu'il serait capable de faire parfois une apparition fugace, surtout quand le gypse est rare. Par contre, dans les régions prédésertiques ou désertiques, des cas de salant noir peuvent être relevés.

Ainsi les indications fournies par l'étude chimique ou minéralogique du salant sont éminemment analytique — au sens philosophique du terme — et qualitatives malgré l'aspect rigoureux des résultats chiffrés des dosages chimiques. Ces indications ont évidemment leur valeur : analyser c'est expliquer et l'on ne peut étudier sans chercher à comprendre. Mais il est, par ailleurs, une nécessité d'ordre pratique : il s'agit de caractériser le milieu, *l'ensemble du milieu*, afin de savoir comment l'utiliser à des fins agricoles. Il faut donc faire une synthèse de ses diverses caractéristiques et l'étude de la végétation en offre seule la possibilité.

V. — ÉTUDE DES INDICES VÉGÉTAUX DE LA SALURE DES TERRES.

Dans l'état actuel de nos connaissances sur les terrains salés, *la végétation — ou, au moins, certains de ses aspects — constitue la base d'estimation la plus sérieuse pour déterminer la vocation agricole d'une terre.*

Les appréciations auxquelles on parvient en cette matière reposent sur l'analogie des comportements physiologiques des cultures, d'une part,

et des espèces spontanées, d'autre part, qui servent à caractériser le milieu. Le problème consiste à distinguer parmi cette végétation une gamme d'espèces ou d'associations correspondant, chacune, à la fois à une salure donnée et à la possibilité de certaines cultures. On constitue ainsi une échelle d'espèces ou d'associations indicatrices qui exprime des degrés de salure.

A titre d'exemple, dans les basses plaines oranaises les principaux termes de cette succession sont :

— l'*Atriplex halimus* dont l'apparition dénote que les plantations d'agrumes ou les cultures de même résistance au sel se trouvent en danger (15);

— l'association *Atriplex halimus-Sueda* occupe les terres où les céréales rustiques (orge et avoine) ainsi que les cultures maraîchères résistantes au sel (artichaut) peuvent être tentées;

— les peuplements de *Sueda* admettant pendant l'hiver une végétation intercalaire de végétaux légèrement halophiles (*Anacyclus clavatus*, *Beta maritima*, *Hordeum maritimum*, *Anthemis fuscata*, etc...) expriment encore la possibilité de certaines cultures à racines fasciculées : orge et avoine.

— dès que cette végétation intercalaire disparaît, par suite de la salure des horizons supérieurs, les cultures deviennent plus aléatoires : on peut tenter encore, en prenant de grandes précautions, l'avoine, le coton, l'artichaut;

— enfin, quand apparaissent les Salicornes, la terre est à la fois trop salée et trop humide pour que l'on y tente des cultures. La présence de *Mesembryanthemum nodiflorum* donne la même indication en terrains secs, les *Arthrocnemon* en terrains moyennement humides.

Cette échelle est évidemment schématique et d'autres espèces interviennent pour nuancer les diagnostics (notamment *Limonium delicatula*, *Plantago coronopus*, *Inula crithmoïdes*, etc...). L'aspect des cultures, la présence de certaines mauvaises herbes, les signes de dépérissements dans les plantations d'agrumes ou d'oliviers, sont également symptomatiques et peuvent servir à repérer aussi des degrés de salure (29), (30).

Il arrive enfin que l'évolution de la végétation traduise elle-même par ses états successifs les différents stades d'une progression ou d'une régression de la salure. M. SIMONNEAU, conseiller agricole, a suivi ainsi, à Relizane, par les modifications de la végétation les périétés d'un exhaussement et d'un abaissement de la nappe phréatique (31).

L'interprétation des indices offerts par la végétation n'est pourtant pas toujours une opération aisée et l'on doit tenir compte de diverses causes d'erreur.

Fréquemment le salant maintient les végétaux cultivés à la limite de leur équilibre physiologique, le moindre incident amorce leur fléchissement. Les symptômes visibles révèlent parfois plutôt la cause déterminante que la cause profonde. Le nanisme, les « brûlures de sel » apparaissant sur le pourtour des feuilles, sont les signes bien connus. Souvent les indices sont moins caractéristiques, ils traduisent une « mauvaise nutrition ». Très fréquemment on relève des traces de « carence d'azote », on peut penser qu'elles sont plus ou moins liées à la présence du salant magnésien qui, d'après HILGARD, paralyse la nitrification (18).

La valeur indicatrice d'une espèce, d'une association, ou du comportement d'une culture, conserve un *caractère strictement local et régional*. Faisant la synthèse des conditions écologiques d'un milieu, les réactions d'une plante ne peuvent être interprétées de la même façon dans deux régions différentes, que s'il est prouvé que le milieu est bien le même dans ces deux régions. Ainsi l'orge, qui résiste mieux que le blé dans les basses plaines oranaises où le gypse est constamment associé au sel, donne des rendements bien inférieurs au blé dans le Tafilalet où le gypse semble moins abondant. En somme, il faut établir une échelle de plantes ou d'associations indicatrices *pour chaque nature de salant, c'est-à-dire pour chaque région*.

Il faut noter aussi que, dans certains cas, l'étagement des racines des plantes indicatrices est tel que celles-ci n'expriment pas la salure des mêmes horizons : les soudes ont des racines très profondes qui renseignent sur la salure du sous-sol ; il n'en est pas de même des espèces herbacées : *Limonium delicatula*, *Plantago coronopus* ou *Inula crithmoïdes*. Cette observation a son intérêt dans les cas où les horizons superposés peuvent avoir des salures très différentes.

Enfin les appréciations basées sur la flore deviennent très délicates dans les zones humides, dans les champs inondés par des irrigations excessives, au bord des rigoles, etc. Il se constitue des auréoles ou des bandes de végétations de plus en plus halophiles au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'arrivée d'eau. Ces végétations ne traduisent pas toujours la salure réelle du sol : la graduation de la flore dépend de la teneur en eau du sol et de la dilution des sels plutôt que de la teneur en sel correspondant à une humidité normale du sol.

Malgré ces causes d'erreur, dont il est d'ailleurs aisé de tenir compte, les indications fournies par les végétaux sont très précieuses dans l'étude des régions salées. Une carte botanique est, comme une carte de la salure des terres, une carte des « effets », des « conséquences », tandis que la carte des « facteurs de salure » est la carte des « causes ». Mais la carte botanique exprime une réalité tangible tandis que les résultats analytiques ne fournissent que des présomptions.

VI. — ÉTUDE PÉDOLOGIQUE DES SOLS SALÉS.

L'étude pédologique des terrains salés n'a été entreprise que depuis les années 1937-1938 dans le Bas Chélif et dans les basses plaines oranaises. Elle fut ralentie par les difficultés d'équipement des laboratoires provoquées surtout par l'état de guerre.

M. DEL VILLAR a relevé plusieurs profils et il a eu la bonne fortune de pouvoir faire effectuer les analyses du complexe absorbant et de l'extrait chlorhydrique (34), (35). Il classe ces terrains parmi les *solontchak*. Des terrains analogues, que le même auteur a étudiés au Maroc (Gharb), ont montré une prédominance marquée de l'ion sodium dans le complexe absorbant.

M. AUBERT a également prélevé de nombreux échantillons dans la plaine de Relizane et leur étude a été poursuivie au Centre de Recherches Agronomiques de Versailles.

A Perrégaux, au Sig, à Inkermann et aussi à Relizane, j'ai relevé moi-même des profils et recueilli des échantillons. La mise au net et la publication de ces recherches sont subordonnées à l'exécution du travail en laboratoire qui fut toujours défailante pendant ces dernières années (14).

Il faut noter aussi que les méthodes analytiques utilisées sont délicates à manier et qu'elles sont loin de rencontrer l'accord des pédologues : elles relèvent en somme de la partie « recherches en laboratoire » dont il sera dit quelques mots plus loin.

VII. — ÉTUDE AGROLOGIQUE DES TERRAINS SALÉS.

L'étude pédologique révèle essentiellement les caractères typologiques des sols et les indications qu'elle apporte sur les techniques d'amélioration sont parfois assez limitées. Il en est autrement de l'étude agrologique qui met à la fois en lumière les caractères physiques des terres et leurs aptitudes culturales, elle permet, en particulier, de prévoir le comportement vis-à-vis de l'eau de pluie ou d'irrigation et de choisir les méthodes de travail du sol. C'est dans cet esprit que j'ai dressé une carte agrologique du périmètre irrigable de Perrégaux en me basant uniquement sur les caractères observables des terrains. Elle sera présentée aux congressistes au cours de l'excursion faite dans cette région.

Il faut noter d'ailleurs que dans les plaines d'Afrique du Nord les sols sont en grande partie alluviaux ou éluvians et le plus souvent d'âge récent, actuel ou sub-actuel. Dans ces conditions, les processus pédologiques d'évolution n'ont qu'une influence réduite ou nulle sur leur morphologie, leur nature dépend étroitement de l'origine des éléments

et de la forme de la sédimentation (15). Aussi, dans ces conditions, une carte agrologique revêt-elle une importance primordiale.

A l'étude agrologique des terrains salés se rattachent évidemment tous les renseignements concernant le choix des cultures et les techniques d'amélioration des terres, mais leur commentaire — même succinct — nous entraînerait hors du cadre fixé à cet exposé car il vaut mieux, je crois, conserver son indépendance au chapitre de « l'amélioration des terrains salés ».

Je ferai pourtant, d'une façon extrêmement brève, un résumé des principaux aspects de cette question.

L'expérimentation agricole portant sur les cultures et les techniques adaptées aux terrains salés a été conduite dans les différents centres de recherches, notamment pour l'Algérie à la Station de Ferme Blanche et, au Maroc, à celle de Dar Ould Zidouh. On a surtout recherché le comportement des espèces ou des variétés résistantes, parfois des essais de technique aratoire ou de drainage ont été entrepris (6), (27), (32).

Les observations, ou simplement les remarques, faites tant bien que mal depuis une dizaine d'années, surtout dans les régions salées d'Oranie, ont conduit aux conclusions suivantes :

Le travail profond et répété du sol, produisant un remaniement et un émiettement des terres, donne le plus souvent d'excellents résultats; ceux-ci cependant, dans une proportion importante des cas, ne sont pas durables, la terre doit être à nouveau laissée en friche pendant un certain nombre d'années.

Dans la région d'Inkermann pourtant, les labours profonds entraînent une stérilisation partielle du sol et ils doivent être évités. On a eu recours dernièrement au sous-solage à titre d'essai pour rétablir une circulation *per descensum* et amorcer le dessalement (15). Les premiers résultats paraissent encourageants.

La combinaison des irrigations et du drainage provoque aussi le dessalement quand les irrigations sont prudemment conduites et le drainage bien conçu, cette dernière condition étant d'ailleurs d'une réalisation particulièrement ardue.

Le plâtrage constitue le remède classique et il est fréquemment préconisé. Mais il ne paraît capable *a priori* de donner de bons résultats que si le sol ne contient pas de gypse, ce qui est assez rare.

Le chaulage, qui a produit quelquefois des effets remarquables, n'a guère été essayé que cette année et l'on ne peut encore rien dire sur l'efficacité de son action.

L'emploi du fumier de ferme à hautes doses a été régulièrement couronné de succès. Le fumier paraît agir sur les propriétés physiques du sol plutôt que par l'apport d'éléments nutritifs. Il ne semble pas, en

effet, que les terres salées offrent des conditions favorables aux phénomènes d'humification et de nitrification.

Cette amélioration des propriétés physiques peut être obtenue avec des engrais verts et, depuis cette année également, des essais ont été entrepris sur l'utilisation dans ce but du *trèfle d'Alexandrie* dont l'action bienfaisante des racines est par ailleurs bien connue.

Les entraves que subit la nitrification en terrains salés font un remède précieux des *engrais azotés immédiatement assimilables*. Le nitrate de chaux, préférable au nitrate de soude, utilisé souvent en quantités très élevées, a donné régulièrement des résultats heureux. Il n'en est pas de même du sulfate d'ammoniaque. Dans certains cas le nitrate de chaux a permis d'obtenir une amélioration rapide de la végétation et de sauver des plantations (orangers).

La mise au point de ces diverses techniques, combinée à l'élaboration d'assolements-types bien adaptés, constitue le problème de la mise en valeur des terres salées. La Station hydro-agricole des Hamadana, créée depuis peu dans des conditions de milieu particulièrement défavorables, doit apporter à l'étude de ces questions une contribution importante.

VIII. — PROGRAMME D'ÉTUDE D'ENSEMBLE DES TERRAINS SALÉS D'AFRIQUE DU NORD.

J'ai décrit, ci-dessus, uniquement des procédés de prospection de terrains salés, ils ont été mis au point surtout pendant la dernière décade au contact de la réalité des faits naturels. D'ailleurs ils constituent seulement une petite partie des recherches que nécessiterait l'étude complète, méthodique, rationnelle de ces terrains. Au fond, ils représentent strictement l'instrument destiné à un travail qui, à ma connaissance, n'a pas encore été défini : je ne pense pas que l'on ait déjà dressé le programme d'une étude d'ensemble des terrains salés de l'Afrique du Nord. Celui-ci comprendrait les rubriques suivantes :

1. Inventaire des terrains salés de l'Afrique du Nord : établissement d'une carte indiquant leur localisation;

2. Étude monographique de chaque région salée : elle porterait surtout sur les causes de la salure et le mécanisme de son extension. Elle ferait état des moyens de lutte utilisés et des résultats cultureux obtenus. Les méthodes de prospection définies ci-dessus seraient appliquées à ces études;

3. Études de chimie agricole :

- étude du complexe absorbant des sols salés;
- étude du mécanisme de l'échange des bases;
- peptisation et floculation dans les sols salés, leur perméabilité;

- migrations des substances dans les sols salés, étude de la « mobilité » des sels toxiques;
- nitrification en terrains salés, ses variations avec la nature du salant.

C'est précisément sur ce chapitre que nos connaissances sont les plus fragmentaires. Il est pourtant indispensable que de gros progrès soient faits à ce sujet en Afrique du Nord sinon l'élaboration dans le détail de certaines techniques d'amélioration et l'appréciation de leurs effets ne sauraient être réalisées.

4. Expérimentation en terrains salés, recherches portant :

- sur le comportement des cultures, espèces et variétés adaptées;
- sur les travaux aratoires convenables;
- sur l'opportunité des assolements;
- sur le choix des engrais.

5. Il s'agira enfin de situer le cas des terrains salés nord-africains par rapport à l'ensemble de ces mêmes terrains répartis dans le monde, ce qui entraîne obligatoirement la réunion de la documentation internationale relative à cette question.

CONCLUSIONS

J'ajouterai, pour conclure, certaines remarques.

1. Ces méthodes de prospection, pour les résumer, comprennent essentiellement une suite d'opérations qui doit conduire à l'établissement de certaines cartes :

- Carte de la salure des terres (sol et sous-sol);
- Carte botanique détaillée;
- Carte des facteurs de salure;
- Carte agrologique.

Tout ce travail cartographique est grandement facilité en Algérie par la remarquable carte géologique détaillée au 1/50.000. Il convient de rendre un hommage particulièrement reconnaissant à ceux qui l'ont conçue et à ceux qui en ont exécuté les feuilles actuellement éditées. Cette publication ne peut évidemment tenir lieu de carte agronomique mais elle fournit à celle-ci les bases nécessaires.

La valeur théorique et pratique de ces méthodes de prospection est concrétisée par le fait que, dans certains cas, elles permettent la *prévision* : dans les régions bien étudiées on parvient à prévoir l'amplitude qu'atteindra une remontée de sel après une période pluvieuse d'intensité connue.

2. On remarquera en deuxième lieu l'importance, la primauté, accor-

dées dans ces procédés aux *caractères des sols observables sur le terrain*, alors que les caractères déterminés par des résultats analytiques passent au second plan. C'est la justification d'un vieux dicton qui veut que « l'analyse éclaire l'expérience mais ne la remplace pas ». Pendant ces dernières années l'abus des analyses de terre faites d'une façon désordonnée, sans une prospection préalable des terrains, a submergé la science agricole d'une foule de résultats analytiques dont la signification et la valeur restent très contestables.

A l'encontre de cette méthode, j'en ai utilisé une autre qui a donné, à Perrégaux, les résultats que je vais indiquer. En 1940, le périmètre irrigable de Perrégaux a été reclassé et réduit d'environ 10.000 hectares. La délimitation du nouveau périmètre a été établie *sans qu'une analyse de terre ne soit effectuée*, cette délimitation fut basée uniquement :

- sur les indications révélées par l'étude des nappes phréatiques;
- sur l'étude de la végétation spontanée ou adventice;
- sur les caractères agrologiques des terres déduits de leur examen sur place (9).

Il faut dire que si les moyens l'avaient permis, j'aurais volontiers fait confirmer certains appréciations par des analyses de terre. Pourtant telle qu'elle fut exécutée la délimitation adoptée, sévère cependant, n'a entraîné aucune réclamation de la part des agriculteurs; ce qui prouve qu'implicitement ils reconnurent le bien-fondé de la méthode. A mon avis cet exemple fait date, il atteste la valeur d'une méthode basée d'abord sur l'examen des caractères observables.

3. Enfin il est, je crois, une dernière remarque qui s'impose : l'étude des terrains salés a mis en lumière la valeur de la méthode qui étudie progressivement toute la série des phénomènes allant des phénomènes géologiques ou géographiques aux réalisations culturelles.

Il se vérifie, dans le cas des terrains salés plus que dans tout autre cas, que la genèse d'un sol résulte d'une *formation continue* où chaque groupe de facteurs naturels — les facteurs géographiques, géologiques, hydrologiques, botaniques, pédologiques — exerce son action à tour de rôle. La connaissance du résultat final, le sol, ne peut être acquise que par l'étude successive de ces facteurs, une sorte d'étude conçue dans un esprit dynamique qui recrée de proche en proche le milieu de formation et d'évolution du sol.

Et si le cas des sols salés illustre cette thèse, il en constitue un exemple plutôt qu'une exception ou un cas particulier, il joue le rôle que remplit en médecine le cas pathologique qui éclaire le cas normal : l'étude dynamique de la formation continue du sol s'applique à tous les terrains (1).

(1) J'ai développé cette conception dans : *En marge d'une carte agrologique de l'Afrique du Nord. La prospection agrologique des terres arables, ses bases logiques, son but, son intérêt*, Alger, 1945.

C'est pourquoi l'étude des terrains salés est à la fois intéressante en elle-même et fructueuse aussi en raison des progrès qu'elle permettra de faire à la science du sol.

Rabat, janvier 1947.

Bibliographie.

1. G. AUBERT et G. LEJEAILLE. — Observations sur l'évolution de la nappe phréatique en zone irriguée, à Relizane (Algérie). 1943.
2. A. BRIVES. — Contribution à l'étude géohydrologique des Ziban et de l'oued Rhir. 1924.
3. G. CHEVALIER. — Sur un facteur de toxicité végétale en Afrique du Nord et dans les climats secs. 1935.
4. M. DALLONI. — Géologie appliquée de l'Algérie. 1939.
5. J. DUGAST. — Agrologie. 1900.
6. F. FOURNIER. — Drainage par fossés en vue du dessalement des terres. 1928.
7. G. GAUCHER. — Observations hydrogéologiques sur la plaine de Perrégaux. 1938.
8. — Observations sur le problème géologique du sel en Algérie. 1939.
9. — Rapports sur la délimitation du périmètre irrigable de l'Habra (rapports inédits). 1940.
10. — Mise en valeur des terrains salés. 1941.
11. — Étude des dépérissements provoqués par le salant dans les orangeries de Mocta Douz et de Sainte-Eugénie (rapport inédit). 1941.
12. — Les terrains salés de la plaine de Bazer (rapport inédit). 1942.
13. — Note sur l'origine de la salure et les causes de son extension dans la plaine d'Inkermann (rapport inédit). 1942.
14. — Les sols rouges sur croûte et les sols gris salés du Bas Chélif et des basses plaines oranaïses. (Exposé fait le 14 décembre 1945, à la section algérienne de l'Ass. Fr. pour l'Ét. du sol. Non encore publié). 1945.
15. G. GAUCHER. — Observations sur la salure des terres et les effets des façons aratoires en Oranie orientale (*C. R. Ac. Agric.*, 8 mai 1946). 1946.
16. — Essai d'une représentation cartographique des facteurs de salure de la plaine de Relizane (en cours de publication).
17. G. GAUCHER et P. SIMONNEAU. — Monographie agricole de la plaine de Saint-Denis du Sig (en cours de publication).
18. E.-W. HILGARD. — De l'influence du climat sur la formation et la composition des sols, suivi d'un chapitre spécial sur les terrains alcalins. 1892.
19. L.-J. MANQUÈNE. — Caractères agronomiques des terrains miocènes, pliocènes et quaternaires de la région de Mostaganem. 1914.
20. — Agrologie de l'Oranie orientale. 1925.
21. — Du Chélig à la Grande Sebka, terrains et eaux chlorurés du département d'Oran. 1928.
22. — L'Oranie et ses richesses agricoles. 1930.
23. — Contribution à la mise en valeur de la plaine du Chélif par l'irrigation. 1935.
24. — Les terrains salés du bassin du Chélif. 1935.
25. MEAUME ET DULAC. — Le problème de la toxicité et d'antagonisme en physiologie végétale. 1929.
26. MERCIER DES ROCHETTES. — Considérations sur l'agriculture algérienne. Terrains salés et non salés de la plaine de l'Habra et de la Macta. 1912.
27. E. MIÈGE. — La question des eaux salées au Maroc. 1932.
28. J. SAVORNIN. — La géologie algérienne et nord-africaine depuis 1830. 1930.
29. P. SIMONNEAU. — Observations sur l'action de l'excès d'eau sur les plantes cultivées. 1945.

30. — Observations sur le comportement des agrumes en présence du salant. 1945.
31. — Observations sur l'action de l'excès d'eau sur la végétation spontanée et les plantes cultivées dans la région de la Mina (rapport inédit). 1945.
32. L. TRABUT. — La culture dans les terrains salés. 1927.
33. L. TRABUT et R. MARÈS. — L'Algérie agricole en 1906. 1906.
34. E.-H. DEL VILLAR. — Un premier aperçu sur les sols d'Algérie. 1939.
35. — Quelques profils des plaines de l'Habra et du Chélif.

Service de la Carte géologique de l'Algérie (carte au 1/500000^e).

36. Feuille de Cherchell-Gouraya, par BRIVES et GLANGEAUD.
37. Feuille de Relizane, par DALLONI.
38. Feuille d'Aïn-Faress, par DALLONI.
39. Feuille de Perrégaux, par DALLONI.
40. Feuille de Zemmora, par DALLONI.
41. Feuille de Milania, par GENTIL et FICHEUR.
42. Feuille de Vesoul-Beniaq, par BRIVES.
43. Feuille de Marengo, par REPÉLIN, FICHEUR et BRIVES.

NOTE SUR LA CÉDRAIE DE L'ATLAS DE BLIDA (ALGÉRIE) SES SOLS ET SES ASSOCIATIONS VÉGÉTALES

Par L. FAUREL.

Assistant à la Faculté des Sciences (Alger)

Au cours de recherches d'ensemble sur les cédraies de l'Afrique du Nord, celle dite de Chréa ou des Beni-Salah, dans l'Atlas de Blida, a été parcourue en détail pour l'étude de sa végétation. La délimitation des associations végétales a entraîné un examen simultané des sols correspondants avec prélèvement et analyse de divers profils.

A l'occasion du Congrès international de Pédologie, et puisque la forêt de cèdres de Chréa se trouve sur l'itinéraire prévu, il m'a paru intéressant d'exposer brièvement l'essentiel des résultats déjà obtenus.

La ligne de crêtes du massif des Beni-Salah oscille entre 1.500 et 1.600 m d'altitude et culmine au Koudiat Sidi Abd el Kader à 1.629 m. Elle est sensiblement rectiligne et orientée E.-N.-E., W.-S.-W. Cette disposition naturelle entraîne une profonde dissemblance des versants, encore accusée par le fait que la face sud est nettement la plus abrupte.

La cédraie couvre toute la région faîtière; elle descend jusque vers 1.200-1.300 m sur les pentes nord (1.000 et même 900 m dans les ravins) alors qu'elle descend fort peu sur le flanc sud.

Géologiquement le massif est très homogène et composé à peu près uniquement de puissants dépôts de schistes, plus ou moins argileux par places, et rarement fossilifères. Ce dernier fait avait entraîné des erreurs de la part des premiers géologues algériens, et FICHEUR, notamment, avait cru identifier des schistes d'âge silurien, les « schistes de la Chiffa », recouverts en discordance par d'autres schistes très similaires, appartenant au crétacé inférieur. Les géologues actuels ont établi la concordance de toute la série schisteuse qui correspond au crétacé inférieur, mais débute peut être au jurassique supérieur.

L'homogénéité exceptionnelle de la constitution lithologique simplifie singulièrement l'interprétation de la répartition des associations végétales en fonction du sol, celui-ci étant relativement stable, tant au point de vue de la teneur en éléments chimiques que de la structure physique. Ce sont de menues différences dans la dureté ou la texture de la roche mère (plans de clivage, filons de quartzite, intercalations marneuses, etc...) qui nuancent les types de décomposition et com-

mandent, par voie de conséquence, l'épaisseur du sol et la taille de ses éléments ainsi que l'installation de populations végétales variées.

Les sols les plus frustes sont ceux des talus croulants, des petits ensellements des crêtes, des roches verticales et des entablements rocheux, et enfin ceux des pentes et sommets dénudés. Ils naissent toujours de couches de schistes bleuâtres très feuilletés, qui se délitent aisément en surface en éléments de formes variables (aiguilles, paillettes, plaquettes), de petites dimensions, fragiles, à cassure d'un bleu plus intense. Ces débris sont recouverts et séparés par une très fine pellicule de poussière argileuse jaunâtre constituant le seul véritable sol.

Les talus croulants s'édifient sur les pentes fortement déclives, où pesanteur et ruissellement imposent un profil d'équilibre. L'absence presque totale de terre et la mobilité des éléments entravent très vivement l'installation des végétaux. Quelques plantes annuelles s'y maintiennent grâce à leur cycle évolutif très court; elles sont accompagnées de rares plantes vivaces qui s'accrochent aux points les moins instables par leurs longues racines traçantes. C'est le substratum d'élection de l'association à *Silène pseudo-atocion* Desf.

Dans les ensellements des crêtes, véritables cols en miniature formés en tête des ravins, les mêmes schistes feuilletés sont moins instables par suite de la pente faible ou nulle. Les éléments mobiles s'entremêlent d'une terre à peine plus abondante. L'association à *Convolvulus Cantabrica* L. ssp. *eu-Cantabrica* Maire et *Sedum tenuifolium* (Sibth. et Sm.) Strobl. s'y développe; elle comporte aussi de nombreuses annuelles, mais les vivaces qui s'enracinent dans les plans de clivage de la roche sous-jacente non encore désagrégée tendent à prendre la prédominance.

Assez rarement, des schistes plus durs, non ou à peine feuilletés, créent de petits abrupts dont les parois verticales permettent la naissance des habituelles associations saxicoles : nombreux lichens et, ici ou là au gré des fissures ou des suintements, quelques mousses et algues.

Les entablements rocheux donnent au début des sols tout aussi réduits, mais stables. Ils sont initialement colonisés par des lichens et des mousses, puis par des associations à dominance de *Sedum caeruleum* L. ou de *Sedum album* L., la seconde remplaçant l'autre à la faveur de l'enrichissement en humus.

Les pentes et sommets dénudés ont un sol presque aussi maigre; mais ici les affleurements de schistes encore cohérents alternent avec des zones où le délitement superficiel est plus prononcé et où quelques centimètres de petites plaquettes schisteuses mêlées à un peu de terre fine assurent la prospérité d'une association végétale à *Bupleurum spinosum* L. f. var. *genuinum* Maire et *Festuca atlantica* Duv. Jouve var. *eu-atlantica* Lit. et Maire. Un facies à *Festuca atlantica* dominant s'éta-

blit sur le même type de sol un peu plus évolué et fait transition vers la cédraie.

Tous les substratums énumérés ci-dessus se composent d'un unique horizon de sol, épais au maximum de quelques centimètres, reposant directement sur une roche mère en voie d'altération. Le pH est voisin de la neutralité : 6,2 à 7,2. Perpétuellement remaniés par suite de leur mobilité, seuls quelques-uns subiront une évolution progressive suffisante pour permettre l'établissement définitif de la végétation arborescente. Celle-ci entraînera à son tour la poursuite de l'évolution aboutissant à un stade terminal d'équilibre représenté par les sols définis ci-après.

Les sols évolués se trouvent donc uniquement dans la cédraie. Par suite de l'opposition des versants on distingue aisément deux types distincts d'associations végétales, mais tous les sols semblent être très similaires.

Sur le versant nord et sur les crêtes, une cédraie assez dense et ombreuse abrite généralement un sous-bois à *Viola Munbyana* Boiss. et *Reut* et *Balansae glaberrima* (Desf.) Lange. Sur le versant sud, où la forêt est plus claire et plus ensoleillée, on observe une association à *Genista tricuspidata* Desf. ssp. *Duriaei* (Spach) Batt. et *Festuca atlantica* Duv.-Jouve var. *eu-atlantica* Lit. et Maire.

Un cas un peu spécial est représenté par la région du Col des Fougères, où un facies végétal particulier, peut être même une association distincte, à *Vicia ochroleuca* Ten. ssp. *atlantica* (Pom.) Maire et *Eupteris aquilina* (L.) Newm. s'est installé sur un sol assez profond dû à la présence d'un banc de schistes argileux d'une décomposition très aisée (1).

Dans les cantons les plus âgés, le sol, que l'on pourrait qualifier de climatique, est peu épais et présente les horizons ci-après, toujours bien nets.

A⁰ (pH = 6,7 à 7,0) litière d'aiguilles : plus abondante et mieux décomposée sur le flanc nord;

A¹ (pH = 6,5 à 7,0) humus châtain foncé : pulvérulent sur le versant sud et tendant à s'agréger sur le versant nord;

C⁰ (pH = 6,0 à 7,0) sol jaunâtre plus ou moins humifère, avec très nombreux débris schisteux à cassure bleuâtre;

C¹ (pH = 6,4 à 6,5) roche mère : schistes bleus en plaquettes ou paillettes, plus ou moins cohérents.

Je fournis ci-dessous quelques résultats analytiques extrêmes obte-

(1) Deleau, dans un travail géologique, signale et délimite sur sa carte une assez grande tache de « calcaires marneux » sise au Col des Fougères. Ce fait paraît paradoxal puisque l'*Eupteris aquilina* qui a fait donner son nom à ce col est un exemple classique de plante calcifuge. Au surplus, j'ai relevé un profil au col même et les analyses effectuées au calcimètre ne laissent aucun doute sur l'absence totale de CO₃Ca en ce point. Il n'y a là que des schistes marneux friables.

nus pour des sols de Chréa. Les chiffres granulométriques ont trait aux horizons C  , afin d  viter au mieux les interférences dues à la présence des matières organiques :

a) *Structure granulométrique* (  chelle américaine) :

	SOL très fruste	SOUS-BOIS versant N	COL des fougères
Argiles fines (— de 2 μ)	5,8	17,0	29,4
Argiles totales (— de 5 μ).	10,0	21,4	37,8
Limons (5 μ �� 50 μ).	39,4	42,8	44,4
Sables (50 μ �� 1 mm)	50,6	35,8	17,8
��l��ments grossiers (+ de 1 mm) . .	28,1	32,1	2,9

b) pH : presque neutre, oscille entre 6,0 et 7,2.

c) *Eléments chimiques* (en %) :

N	de 0,15 �� 1,6;
C.	de 1,5 �� 50 (dans les litières);
CO��Ca	de 0,0 �� faibles traces;
CaO	de 0,4 �� 3,7 (dans une litière);
MgO.	de 1,0 �� 2,8 (dans une litière);
Fe��O��.	de 2,9 (dans un humus) �� 9,0;
Al��O��.	de 3,6 (dans un humus) �� 9,3.

Ces chiffres n  ont pas besoin de commentaires.

Tout récemment vient de paraître un intéressant travail du géologue DELEAU sur la région de Chréa (1), englobant à peu près l'intégralité de la zone des Cèdres. DELEAU, distinguant cinq horizons dans la longue et monotone série des schistes, signale un lien entre la répartition de leurs affleurements et la distribution du cèdre qui, notamment, ne s'installerait que très difficilement sur les schistes dits de la Chiffa. Si ses vues s'avéraient exactes, on y trouverait une explication de l'absence de la cédraie sur le Djebel Mouzaïa (1.604 m), voisin et jumeau de l'Atlas de Blida. En effet, le Djebel Mouzaïa est couronné par les schistes de la Chiffa alors que les crêtes de l'Atlas de Blida appartiennent aux schistes crétacés.

Mes propres recherches ayant été effectuées avant la parution du travail de DELEAU, je n'ai pu distinguer les divers horizons qu'il définit, masqués sous la couverture forestière, et d'ailleurs assez délicats à identifier. Il sera donc d'autant plus nécessaire d'effectuer de nouvelles observations sur le terrain, que l'opinion de DELEAU va à l'encontre des idées admises par tous les botanistes sur la répartition purement climatique du cèdre.

(1) P. DELEAU, *  tude géologique des Crêtes de Chréa* (Atlas de Blida, Algérie). Aperçu Hydrogéologique et Aperçu sur la répartition des Cèdres    Chréa.

APERÇU SCHÉMATIQUE SUR LES SOLS DES CÉDRAIES DE L'AFRIQUE DU NORD FRANÇAISE

Par L. FAUREL.

Assistant à la Faculté des Sciences (Alger).

Il a été remarqué depuis longtemps que le cèdre est à peu près indifférent à la nature du substratum sur lequel il croît; la répartition des cédraies est donc le résultat de composantes d'ordre presque uniquement climatique ou historique.

Les roches mères qui supportent les cédraies sont d'âge géologique très variable; elles vont du paléozoïque indéterminé (Dj. Tazzeke) au miocène inférieur (Aurès) et aux roches éruptives récentes (Moyen Atlas central et oriental) en passant par la quasi-totalité des formations géologiques intermédiaires. Du fait de l'ampleur des terrains secondaires (liasiques, jurassiques et crétacés) dans les régions montagneuses élevées de l'Afrique du Nord, c'est sur eux que s'étendent les cédraies les plus considérables.

Les roches mères sont, parallèlement, de nature lithologique fort variée; si les calcaires constituent, et de beaucoup, l'élément le plus important, les schistes argileux, les grès siliceux, les roches éruptives ne sont pas négligeables.

Les sols résultant de la décomposition de roches aussi diverses ne peuvent être définis que bien sommairement dans une note succincte. Dans leur ensemble on peut les rapporter, suivant les classifications habituelles, aux sols bruns forestiers. Toutefois, nombre d'entre eux sont squelettiques ou non mûrs, alors que d'autres ont des affinités avec les rendzines.

Dans la classification d'Huguet del Villar, les sols des cédraies se situent nettement dans les cycles calcaire et siallférique, les intermédiaires entre les deux cycles étant fréquents par suite des décalcifications plus ou moins actives et complètes. Le cycle calcaire renferme divers sols formés aux dépens de roches facilement décomposables (marno-calcaires de toutes natures, grès calcaires) sur lesquelles l'apport de CO_3Ca au sol en formation dépasse de beaucoup la rapidité de la décalcification. Le cycle siallférique englobe l'intégralité des sols restant, la grosse majorité, dans son seul secteur siallitique. Ces sols sont siallitiques par nature (sols issus de roches non calcaires), ou par

décalcification (sols issus de roches calcaires peu décomposables : dolomies, calcaires durs).

Les sols squelettiques sont fréquents dans l'étage du cèdre. Que ce soit sur calcaires durs ou dolomitiques ou sur schistes, ces sols sont souvent réduits à une mince couche de terre de quelques centimètres ou à une minime accumulation à la faveur d'une fissure ou d'une cuvette peu profonde. Le cèdre les colonise pourtant volontiers, surtout les dolomies, montrant ainsi une remarquable faculté de croissance sur les terrains les plus maigres.

Les sols murs sont, pour la majeure partie, peu épais, le plus souvent de 10 à 25-30 cm. Ils présentent cependant presque toujours des horizons bien nets, typiquement au nombre de quatre :

- A⁰ litière .
- A' humus. { très variables, même sur une étendue restreinte;
- C⁰ sol, parfois humifère, parfois voisin de la roche mère;
- C¹ roche mère.

L'horizon B n'existe pas. Il y a, suivant les cas, une augmentation ou une décroissance dans la teneur des divers éléments selon la succession verticale des horizons, mais je n'ai jamais reconnu d'horizons de lessivage ou d'accumulation vraiment caractéristiques.

Ces sols mûrs sont probablement ramenés, de façon périodique, au stade squelettique, par disparition totale de la cédraie ou formation de clairières. La destruction complète des horizons A⁰ et A¹ est alors effectuée par les agents climatériques (soleil, pluies, etc...), qui découpent souvent aussi plus ou moins d'horizon C⁰. Puis le processus progressif de reconstitution du sol reprend avec la réinstallation du boisement. Cette rotation doit être considérée comme normale pour la plupart des sols boisés en cèdres; seuls y échappent ceux des zones très humides, par suite de la pérennité de la cédraie.

La structure granulométrique est très variable; on observe à peu près toute la gamme possible entre les sols à éléments presque uniquement grossiers et les argiles. Toutefois, une compacité excessive est un obstacle à l'installation du cèdre (argiles de certains cols), de même que la permanence d'un excès d'humidité (abords des dayas du Moyen Atlas, de la merdja de Sgag, etc...).

Les litières et les humus sont doux, à pH assez voisin du neutre. Une tendance à l'acidification des horizons organiques n'apparaît que dans les futaies âgées des régions les plus arrosées. Les sols sont parfois plus acides, surtout sur les grès siliceux des mêmes régions très humides.

Les teneurs en N, C, et matières organiques sont des plus variables; faibles ou presque nulles dans les clairières et les très jeunes peuplements, elles atteignent des valeurs considérables dans les boisements denses et âgés où elles contribuent à interdire toute régénération.

En ce qui concerne les divers éléments chimiques, je ne puis même pas résumer ici les faits, les plus marquants. CaO , MgO , Fe_3O_3 , Al_2O_3 , etc. varient localement et rapidement sous l'influence de la roche mère et des apports dus à la décomposition des litières.

Signalons seulement que la teneur du sol en calcaire semble indifférer au cèdre. Nous trouvons très fréquemment des cédraies sur des sols sans calcaires alors que d'autres prospèrent magnifiquement sur des grès calcaires (Senoual dans le Moyen Atlas) ou des calcaires tendres (Aïn-Kahla dans le Moyen-Atlas; Aït-Ouabane dans le Djurjura) donnant des sols à 90 et 95 % de CO_3Ca . Les sols dolomitiques sont favorables à la cédraie et s'observent fréquemment, surtout aux hautes altitudes.

Enfin, nos résultats personnels confirment bien la pauvreté générale des sols nord-africains en P_2O_5 .

Dans une note aussi sommaire il n'est pas possible de préciser davantage les caractéristiques des divers types de sols de la cédraie. Les détails nécessaires et de très nombreux chiffres analytiques seront publiés dans un travail botanique, en préparation sur les cédraies de l'Afrique du Nord française.

REMARKS AT CLOSING SESSIONS OF MEDITERRANEAN CONFERENCE IN ORAN ON MAY 1947

By Charles E. KELLOGG.

Chief, Division of Soil Survey,

U. S. Department of Agriculture and Head of American delegation.

First of all, I want to express my personal thanks for the excellent opportunities for study and exchange of views made possible by our French colleagues. Certainly this Conference has been in the best tradition of French culture. Frankly, I fail to see how such excellent arrangements could have been made and carried out so smoothly in these times of adjustment after the world's most cruel war.

It is difficult to make useful comments on the work we have seen so briefly. One must deal largely in generalities, especially anyone with such limited experience in the Mediterranean region as myself. Further, it is clear by now that my interest is as much in the application of soil science to the practical tasks of food production and soil improvement as in the fundamental research essential to such applications.

As we went over the area a few suggestions, or rather questions, arose in my mind :

1. How about more use of the new strains of millet and grain sorghums for food and animal feeds in the dry areas that cannot be irrigated?

2. Does not some examination need to be made of optimum plant spacing for various soils and management systems, especially in relation to irrigation? The spacing seems nearly uniform now under a wide range of conditions.

3. One is always inclined to question as much monoculture as we've seen, and wonder whether some mixed cultures, where ordinary rotations are impracticable, could not be developed that would improve the soil and increase total production. Such systems might or might not involve some livestock production along with grape culture.

4. The erosion problem is acute in places, although it can, by no means, be assumed that all hillsides with thin, stony soil are erosion remnants from better days. In some situations, deep soil has probably never existed; as over porous rocks where the fine products of weathering go deeply into cracks and subterranean caves, for example.

In many places it is obvious that controlled grazing, controlled cutting of shrubs and trees, and prevention of fires are absolutely essential first steps for soil conservation and improvement. These matters touch highly important social and administrative problems. I shall not try to deal with them, except to emphasize that they *must be dealt with* if the population of certain areas is to continue to exist there. They will not get easier through neglect or postponement. Quite the reverse. Soil scientists must urge their importance.

We have seen good work with terraces, contour strips, and small dams. It is obvious that well qualified technicians have been at work. Certainly attention needs to be given the costs of such improvements and how these costs should be allocated to the various interests benefiting from them, including city industries and harbors, as well as rural people.

5. The problems of irrigation here in Algeria are numerous. There are questions of the optimum amount of water to use; that is, too little on a large area may be as wasteful as too much. Perhaps a lot could be gained of prediction value by using some physical tests of soils, as well as chemical ones, for estimating their suitability for irrigation.

Then too, the relative costs of the several alternate methods of handling the water need careful comparative analysis.

6. One wonders whether fertilizers cannot be even more useful. Some combined studies of soil moisture, fertilizer treatments, and plant spacing might be very helpful for developing more efficient practices. Perhaps more attention needs to be given the minor elements, especially with intensive production of fruits and other crops in monoculture under irrigation.

7. On the problem of calcareous crusts I can only say now that their precise origin under all cases is not satisfactorily clear to me. Whether we call them pedological or geological is largely a question of semantics. Certainly they are characteristic of warm subhumid and semiarid treeless regions. Some we find are no doubt fossil; others are currently in formation. Nor can we expect that all were formed in exactly the same way.

8. It seems to me that the Terra Rossa is related to climate, and in that sense a zonal great soil group, and also to certain kinds of rocks rich in the alkaline earths, and in that sense an intrazonal great soil group.

9. It is difficult to understand soils, if not impossible, until the various kinds have been identified through detailed study of their profiles and environments, over the range of the relevant local topographic and geological conditions where they occur, and their boundaries carefully plotted out in considerable detail. For reaching that

understanding of soils needed in soil classification, profiles near together over the range of slope from one hilltop, across the valley and up to the opposite hilltop, are necessary on the various kinds of rock materials. A soil is a three-dimensional landscape—often a micro-landscape—that needs to be studied in relation to all the landscapes that join it to understand it.

COMPTE RENDU DE LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE DE PÉDOLOGIE PENDANT SON SÉJOUR EN ALGÉRIE

9 à 20 mai 1947.

Par G. AUBERT.

10 mai. — La séance inaugurale a lieu à la salle GSELL mise aimablement à la disposition du Congrès par l'Université d'Alger.

Sur les murs ont été affichées de nombreuses cartes climatiques, géologiques, phytogéographiques et pédologiques de la Tunisie et du Maroc, aussi bien que de l'Algérie. La séance est présidée par M. l'Ambassadeur de France, Gouverneur général de l'Algérie, Y. CHATAIGNEAU, entouré de M. le Secrétaire général de l'Algérie et de M. le Recteur de l'Université d'Alger.

Après les souhaits de bienvenue de M. l'Inspecteur général de l'Agriculture BARBUT, au nom du Comité algérien d'organisation et de M. le professeur Dr MAIRE, au nom de la section algérienne de l'Association française pour l'étude du sol, M. le Dr O. TAMM prononce quelques paroles de remerciement pour l'accueil réservé aux congressistes étrangers depuis qu'ils ont débarqué à Alger. M. A. DEMOLON, Président du Congrès, insiste sur l'intérêt scientifique et pratique de cette tournée en Algérie et des communications qui y seront présentées ainsi que des discussions qui surgiront.

Enfin, M. le Gouverneur Général dit tout l'intérêt qu'il porte à la Pédologie et sa joie de voir tant de spécialistes éminents se pencher sur les problèmes ardues posés par les sols d'Algérie.

M. l'Inspecteur Général BARBUT et M. le professeur BERTHAULT exposent ensuite la situation de l'Algérie agricole, étudiant le premier le milieu naturel, le second le milieu économique.

Dans l'après-midi, M. l'Inspecteur Général BARBUT préside la première partie de la séance consacrée principalement à l'étude de l'érosion.

Après la communication de M. C. V. JACKS sur l'Écologie humaine et l'érosion des sols, d'autres exemples de l'influence des faits humains sur ces phénomènes et se rapportant à différentes contrées (Sénégal, Palestine, États-Unis d'Amérique) sont cités par MM. G. AUBERT, A. REIFENBERG, Ch. E. KELLOGG.

M. le professeur H. ROSEAU expose certaines observations faites en cases lysimétriques à l'Institut agricole de Maison-Carrée sur la circulation de l'eau dans le sol. Il en propose une explication.

MM. R.-K. SCHOFIELD, A. DEMOLON, G. DROUINEAU, M. GODARD, J. ARRIGHI DE CASANOVA et J.-S. JOFFE interviennent ensuite demandant quelques précisions et indiquant d'autres influences possibles du phénomène étudié — l'accroissement de la température — sur certaines propriétés du sol telles que : tensions de surface et gonflement des particules, stabilité de la structure, etc...

M. E.-W. RUSSELL envisage l'influence des méthodes de travail du sol sur l'érosion.

Dans la seconde partie de la séance, présidée par M. le professeur Ch.-E. KELLOGG, M. le professeur L. DE LEENHEER résume un rapport de M. E. MEULENBERGH sur la régénération du sol, à la suite de l'érosion, au Congo belge.

MM. G. AUBERT et R. CHAMINADE indiquent des faits identiques au Sénégal et en Haute-Guinée, ainsi qu'à Madagascar.

M. le professeur C. KILLIAN présente une note en collaboration avec M. SCHNELL sur les sols forestiers du massif montagneux du Fouta-Djallon (Guinée française) et la composition de leur humus.

Enfin, M. G. AUBERT montre l'importance de l'érosion éolienne du sol dans le nord-ouest du Sénégal. M. E.-W. RUSSELL indique l'analogie de ces faits avec ceux qu'il a observés dans le nord-est de la Nigéria.

Les congressistes sortent juste à temps pour observer les résultats de cette érosion des sols africains sous la forme d'un nuage très fin et d'une pluie de boue qui s'abattent alors sur Alger.

A 18 heures réception des Congressistes par M. le Gouverneur Général et M^{me} Y. CHATAIGNEAU à la Villa des Oliviers.

11 mai. — La journée du dimanche 11 mai, est consacrée à l'étude des sols forestiers et de leur protection contre l'érosion dans l'Atlas blidéen.

M. le Conservateur des Forêts SACCARDY, chef du service de la Défense des sols, et M. l'Inspecteur principal PUTOD, montrent les effets de l'érosion sur les sols bruns sur schistes, des pentes du Chabet Boubène dans le bassin de l'oued El Kébir, en amont de Blida. Actuellement ce ne sont plus en moyenne que des sols squelettiques graveleux, à terre fine limono-argileuse, très peu calcaire, mais assez riche en azote.

En 1910, la protection des forêts avait été réalisée par reboisement, avec parfois de petites banquettes pour permettre une meilleure alimentation en eau des arbres, en ne ménageant que de rares clairières transformées en vergers. Ce système a donné de bons résultats dans ce pays habité par une population kabyle. Sur les 350 hectares qui sont

actuellement en voie de restauration, la méthode la plus utilisée sur les meilleurs sols est celle des banquettes bordées, en aval, par une rangée de figuiers, amandiers ou oliviers. Sur une grande partie du terrain, la préparation des banquettes est faite au moyen de charrues et « d'angle-dozer ».

Après le déjeuner à Blida, les congressistes montent en autocars jusqu'à la forêt de chênes verts de Chréa qui se poursuit à plus haute altitude par une forêt de cèdres que l'heure trop tardive et le brouillard ne nous permettent pas d'atteindre.

A 1.150 m. d'altitude, dans un col qui bénéficie d'une pluviométrie annuelle de, à peu près, 1 m., un sol dont la couverture forestière a été récemment détruite, présente un profil complexe : limon colluvial graveleux sur 35 cm., un peu plus humique en surface sur 5 cm., au-dessus d'un sol brun lessivé de plus de 1 m. d'épaisseur (interventions de MM. J.-S. JOFFE, A. OUDIN, J. FRANC DE FERRIÈRE, G. CHEVALIER, G. AUBERT, etc...).

12 mai. — La séance de la matinée, présidée par M. le professeur Dr MAIRE, commence par une conférence de M. le Conservateur des Forêts SACCARDY, sur la répartition régionale et les caractères de la forêt algérienne.

Après une communication de M. le professeur C. KILLIAN sur la pédologie des terrains des environs d'Alger, M. FAUREL expose les résultats de ses travaux sur les sols de la cédraie algérienne. M. SACCARDY intervient pour indiquer l'extension actuelle de la cédraie à Chréa. M. le Dr MAIRE insiste sur la combinaison des facteurs climatiques et édaphiques dans cette répartition du Cèdre et M. B. GÈZE fait état d'une note de M. DELEAU donnant des précisions sur la nature des roches du massif de Chréa, où les sols ne peuvent maintenir une quantité d'eau suffisante pour l'alimentation d'une cédraie que là où les schistes sont recouverts par des éboulis marneux, d'épaisseur plus ou moins grande.

La séance de la matinée se termine sur la communication de M. le professeur C. KILLIAN sur la répartition des plantes des pâturages steppiques d'après les conditions édaphiques.

M. le professeur Dr A. REIFENBERG préside, l'après-midi, la conférence de M. G. GAUCHER sur les méthodes d'étude des terrains salés. MM. J. FRANC DE FERRIÈRE, G. AUBERT, G. DROUINEAU, Ch.-E. KELLOGG, YANKOVITCH, A. REIFENBERG interviennent ensuite. Il importe de pouvoir étudier déjà sur le terrain, puis au laboratoire, la structure des sols salés, par des déterminations physiques rapides. Par ailleurs, si NaCl est, en général, le sel prédominant, les sulfates peuvent être, parfois, en très forte proportion. Du point de vue de la physiologie des

plantes, il vaut mieux exprimer les résultats des dosages de salinité des terres en ions Cl, plutôt qu'en NaCl, mais cela ne doit pas faire sous-estimer l'influence nocive pour le sol de l'ion Na.

Sous la présidence de M. E.-M. CROWTHER, M. le professeur H. ROSEAU expose des cas de décalcification des sols sous l'influence de certains sels, et quelques remarques au sujet de l'analyse physique des terres calcaires.

Cette communication est suivie des interventions de M. J. FRANC DE FERRIÈRE, R. CHAMINADE et R.-K. SCHOFIELD.

M. G. GRILLOT présente ensuite les résultats d'études poursuivies au Centre de Recherches agronomiques de Rabat sur la circulation de l'eau dans les sols du Maroc.

13 mai. — L'excursion préparée et dirigée par M. H. ROSEAU et ses collaborateurs de l'École nationale d'Agriculture d'Alger nous permet d'étudier d'abord les sols du périmètre irrigué du Hamiz puis ceux du Sahel.

A El Alia, où l'argile bleue qui est à la base des sédiments affleurant dans cette région est recouverte par des sables calcaires puis par un tuf blanc, enfin par une argile ocre, une série de quatre profils placés sur une même ligne de pente du terrain montre les traces d'une légère évolution podzolique dans les niveaux supérieurs, les horizons superficiels du sol primordial ayant été ensuite enlevés par l'érosion. Les profils placés les plus bas indiquent d'ailleurs nettement cet alluvionnement. L'intérêt particulier de la dernière coupe de cette série réside dans la présence, à faible profondeur, d'un horizon à concrétion sablo-calcaire, reste probable d'une ancienne croûte calcaire.

Dans la discussion qui suit l'exposé, très documenté et précis, de M. H. ROSEAU et les renseignements qui nous sont alors donnés sur la stratigraphie détaillée de cette région, M. A. DEMOLON, Dr. W.-G. OGG, Ch.-E. KELLOGG, MUIR, BRAMAO, G. GAUCHER, GAUTIER, J. FLANDRIN, B. GÈZE, G. AUBERT — et il faudrait citer presque tous les congressistes — interviennent, cherchant à préciser ce qui, dans ces profils complexes — est d'origine pédologique et les niveaux qui ne sont dus qu'à des épisodes différents de la sédimentation.

Ce même problème se pose à nouveau devant le profil de drain que nous observons à Nadjema et qui présente au-dessus d'une argile à Gley, située à plus de 1 m. 50 de profondeur, un horizon calcaire dur à sa base, plus poudreux en surface et dû, probablement, à la décalcification de l'horizon supérieur argileux, formé dans des conditions marécageuses.

Ce n'est, en effet, que depuis moins d'un siècle que toute la région a été assainie et mise en valeur par la colonisation française. Et ce point

particulier, suivant les renseignements qui nous sont fournis par M. TORRÈS, propriétaire de ce domaine, n'a été drainé qu'en 1900.

Après un arrêt à l'oued Barek — sols alluvionnaires —, une suite de trois profils sur une même pente, étudiés au Foudouk, suscite de vives discussions ou interviennent en particulier, MM. J.-S. JOFFE, J. FRANC DE FERRIÈRE, J. FLANDRIN, G. GAUCHER, RICHARD, H. PALMANN. Pour les uns, il y a là des types de sols très différents; pour d'autres, comme M. J.-S. JOFFE, il ne s'agit que de variations dans un même processus pédologique général. La plupart s'accordent à rattacher cette série, au moins pour les deux profils topographiquement les plus bas, aux sols rouges méditerranéens. Quelques-uns y voient une similitude plus grande avec les sols lessivés (J. FRANC DE FERRIÈRE).

Après le déjeuner pris à Aïn Taya, dans un cadre splendide, face à la mer, la carrière de ce village laisse voir une série assez peu variée de sols sableux au-dessus de grès. Suivant leur profondeur et leurs conditions topographiques, ces sables présentent un seul horizon noir très humifère, ou deux : l'un superficiel, gris; l'autre plus rouge et plus riche en fer. Devant les deux autres séries de profils de Saoula et surtout de Birkadem, les discussions reprennent, passionnées, entre pédologues de diverses tendances, ou entre pédologues et géologues (MM. B. GÈZE, GAUTIER, G. GAUCHER, J. FLANDRIN, A. REIFENBERG, MUIR, O. TAMM, H. PALMANN, H. ROSEAU, R. CHAMINADE, J. FRANC DE FERRIÈRE, G. AUBERT, etc...) pour préciser ce qui, dans ces sols, est en place, ou ce qui paraît avoir été remanié, et déterminer ensuite ce qui provient d'une évolution pédologique ancienne, ou ce qui représente des sols actuels.

Une partie des congressistes rentre ensuite directement sur Alger après avoir examiné à Kaddous, sous la conduite de M. KILIAN une flore dégradée de guarrigue languedocienne. Cependant que les autres, rejoignant le littoral ouest d'Alger, prennent un rapide contact avec les sols rouges successifs et croûtes calcaires formées par accumulation en profondeur. C'est en particulier ce que nous montre M. E.-H. DEL VILLAR près de Staouéli.

14 mai. — La séance s'ouvre sous la présidence de M. le professeur R. NORDHANGEN. M. E.-H. DEL VILLAR y expose quelle fut l'activité de la sous-commission méditerranéenne de l'Association internationale de la Science du Sol et de son président depuis le précédent Congrès (Oxford, 1935).

L'exposé de M. YANKOVITCH sur les sols de la Tunisie est suivi par celui de M. G. GAUCHER sur l'âge des sols rouges du Nord de l'Afrique et les interventions, en particulier de MM. J. FRANC DE FERRIÈRE, E.-H. DEL VILLAR, L. YANKOVITCH, R. NORDHANGEN, A. REIFENBERG, R. CHAMINADE, G. AUBERT.

Il y a lieu de distinguer nettement les sols devenus rouges du fait de leur évolution pédologique, et les sols rouges lithochromes. Il ne faut pas confondre d'ailleurs les sols rouges tels que ceux de la région méditerranéenne, où le fer se trouve sous l'état d'oxydes fortement déshydratés, et les sols bruns, parfois plus ou moins rougeâtres, mais qui ne subissent pas de phénomène de rubéfaction intense. Les sols rouges sont souvent liés aux sols à croûte calcaire, mais il ne paraît pas que l'on puisse associer totalement ces deux phénomènes : formation de la croûte calcaire et rubéfaction. En conclusion, chacun s'accorde à penser qu'il serait urgent pour éclairer ce problème, d'étudier en détail le phénomène physico-chimique de la rubéfaction. Les congressistes forment également le vœu, suggéré par M. GAUCHER, de faire précéder, au prochain Congrès international de la Science du sol, l'étude de cette question des sols rouges et des sols à croûte d'un exposé détaillé sur les climats du quaternaire.

M. le professeur BRAMAO préside la seconde partie de cette séance où les communications de MM. G. BRYSSINE sur les sols de l'Extrême-Sud marocain et G. AUBERT sur les sols du Sénégal au nord de la Gambie succèdent à celle de M. B. GÈZE. Cette dernière se rapporte à l'étude des paléosols et de la tendance évolutive actuelle des sols. Quelques interventions de MM. BRAMAO, Ch.-E. KELLOGG, G. DROUINEAU et J. FRANC DE FERRIÈRE tendent à faire préciser l'état de fertilité des sols rouges méditerranéens, par rapport à celle des sols bruns voisins. En fait, cela dépend beaucoup de la nature de la roche mère de chaque sol.

L'après-midi, les congressistes visitent le Jardin d'Essais d'Alger à Hussein Dey, si riche en plantes de pays subtropicaux et même de régions plus tropicales, et l'École nationale d'Agriculture d'Alger, à Maison-Carrée. Là, M. l'inspecteur général BARBUT, directeur de l'École, nous reçoit, assisté des professeurs, en particulier de MM. H. ROSEAU et REBOUR. Celui-ci, chef du Service de l'Arboriculture, fait un exposé très documenté sur les sols d'orangerie en Algérie, et leur irrigation.

Puis c'est la visite des laboratoires, collections et champs d'expériences de l'École.

15 mai. — Après avoir traversé, en train, toute la Mitidja, puis le massif de Miliana et descendu la vallée du Chélif, nous arrivons à Relizane. L'observation d'un sol à croûte calcaire, sur le bord du périmètre irrigué qui occupe une partie de cette plaine où coule l'oued Mina, provoque des discussions nombreuses.

M. G. AUBERT se basant sur l'enrichissement en CO_3Ca de plus en plus prononcé vers la surface et sur l'existence d'un horizon peu calcaire à moyenne profondeur, le présente comme formé par la remontée de

solutions calcaires et leur évaporation — ou le dépôt du calcaire par départ de CO_2 — à faible profondeur. M. H. ROSEAU prenant comme argument, mais en tirant une conclusion inverse, le premier des faits précités, expose sa genèse comme dominée par les mouvements de haut en bas des solutions et l'accumulation en profondeur du calcaire venant des horizons supérieurs.

C'est ensuite, formé sur les alluvions anciennes, l'étude d'un sol rouge voisin de ceux de type substeppique. L'irrigation qu'il supporte depuis quatre ans et les cultures maraîchères intensives qu'elle permet ont provoqué son appauvrissement en matière organique et en azote.

Sur les alluvions récentes, les sols sont peu évolués, argileux pour la plupart, riches en potasse, moyennement pourvus en P_2O_5 . Leur plus gros défaut est leur tendance à un enrichissement en chlorure de sodium dû à la fois à la remontée de nappes salées profondes, surtout à la suite d'irrigations réalisées avec un drainage insuffisant, et en même temps à l'irrigation au moyen d'eaux légèrement chlorurées.

Ce phénomène de salure du sol atteint un stade bien plus avancé en certains points, comme dans la région dite de Chantrit, où M. G. AUBERT présente un sol à alcalis, dont le complexe absorbant est enrichi aussi bien en magnésium qu'en sodium. Là, plus aucune plante ne peut se maintenir, à cause de la teneur excessive en chlorure, mais aussi de l'imperméabilité totale de la surface du sol, presque fluide en période humide et poudreuse en saison sèche.

A la nuit tombante nous regagnons Oran en passant par Mostaganem et le littoral.

16 mai. — La tournée, dirigée par M. G. GAUCHER, permet aux congressistes d'avoir une vue assez précise sur les conditions du sol dans le périmètre du Sig et surtout dans celui de Perrégaux. Le matin nous étudions les causes de la salure des eaux et des terres de la plaine, selon le circuit indiqué en détail dans le « Guide du Congrès », où M. G. GAUCHER a fait consigner pour chaque halte le résumé de ce que l'on pouvait voir et les renseignements analytiques nécessaires. Dans cette plaine, les nappes salées sont surtout alimentées par les infiltrations des oueds dont le sel a pour origine les dépôts gypso-salins du Sahélien. Dans la zone nord peuvent intervenir des eaux de profondeur dont la salure est d'origine triasique (lac de Bou Chintous).

Principalement sous l'influence de crues exceptionnelles des oueds et de périodes très pluvieuses, les nappes salées ont pu remonter et enrichir les sols, de façon désastreuse, en sels de sodium.

Les drainages entrepris et dont MM. GAUCHER et SIMMONEAU nous présentent rapidement quelques exemples l'après-midi ont permis,

cependant, de maintenir et de sauver une partie de ce périmètre où le rendement des plantations d'agrumes est particulièrement élevé.

Au cours de la tournée, M. SACCARDY met à jour, à la base des sables littoraux, un gisement d'outillage paléolithique intéressant.

De Perrégaux les autocars nous mènent, en traversant le riche plateau de Sidi-Bel-Abbès, jusqu'à Tlemcen, dominé par sa muraille rocheuse.

17 mai. — La matinée est employée à visiter la ville de Tlemcen et ses alentours : ruines de Mansoura, mosquée de Sidi-Bou-Médine. En fin de matinée, les congressistes sont reçus par le Syndicat d'initiative de Tlemcen. Dès le début de l'après-midi, nous gagnons Sebdou, par Lamoricière, puis El Aricha. Nous passons d'abord dans des zones de sols rouges méditerranéens, puis dans une région forestière plus montagneuse où dominent les sols bruns, parfois légèrement lessivés, et à partir de Sebdou, nous atteignons, jusqu'au delà de El Aricha, la steppe d'alfa, que remplace, par taches, là où la culture est intervenue, la steppe d'armoïse.

Sous la conduite de MM. DUCHÉ et A. MONJAUZE, les congressistes sont à même d'observer quatre profils de sols que ce dernier a fait creuser. Dès le premier, pratiqué à 35 kilomètres au nord de El Aricha, là où subsistent les derniers chênes-verts, les discussions sont animées et presque tous les congressistes y prennent part : en particulier MM. Dr OGG, Ch.-E. KELLOGG, MUIR, W.-E. RUSSELL, A. REIFENBERG, J.-S. JOFFE, R. CHAMINADE, H. ROSEAU, G. GAUCHER, GAUTIER, G. DROUINEAU, J. FRANC DE FERRIÈRE, SAUVAGE, G. AUBERT, etc...

La présence d'un horizon très calcaire, compact, à faible profondeur est-elle la preuve d'un sol à carapace calcaire, ou bien ne doit-on l'interpréter que comme un dépôt calcaire de type continental? C'est finalement cette seconde explication qui paraît prévaloir par suite de la présence d'éléments nettement détritiques dans ce niveau et qui ne présentent pas les caractères d'un encroûtement.

M. A. MONJAUZE explique l'existence de la nappe d'alfa comme une relique d'une végétation forestière disparue. Cet exposé provoque aussi de nombreuses interventions (MM. R. NORDHANGEN, SAUVAGE, H. PALMANN, A. OUDIN).

En repassant à El Aricha une réception nous est offerte, à la mode indigène, par les autorités locales.

18 mai. — De Tlemcen nous gagnons Marnia, par une zone où dominent les sols rouges méditerranéens, formés sur calcaire dolomitique et souvent très dégradés par l'érosion.

Sur la route de Marnia à Port-Say, à 35 km. sud-est de ce bourg,

M. G. AUBERT présente un sol noir humifère sur une grande profondeur (1 m.) et calcaire, surtout en profondeur, dont la roche mère est constituée par des produits remaniés provenant de l'altération de coulées basaltiques. Le rattachement proposé de ce sol, en tant que sous-type, à la série des tchernozems, n'est pas admis par MM. Ch.-E. KELLOGG, J.-S. JOFFE, MUIR qui le classent dans le groupe des rendzines malgré son début de lessivage en calcaire dans l'horizon supérieur. M. G. GAUCHER intervient aussi pour en faire préciser la constitution chimique. M. GAUTIER donne des explications, très synthétiques, sur la stratigraphie de toute cette région. Il insiste également sur la liaison qu'il y a entre ce type de sol très noir et les coulées volcaniques.

A peu de distance, le Service de la Défense des sols a entrepris la restauration du périmètre de la colonne Montagnac suivant le procédé des murettes et des gradins à faible pente, bordées à l'aval par un bourrelet légèrement échancré de place en place et le long duquel sont plantés figuiers, amandiers, oliviers, caroubiers. Le résultat technique en paraît fort intéressant, mais l'ensemble est assez coûteux et long, comme l'indique, à la demande de M. Ch.-E. KELLOGG, M. MONJAUZE qui dirige ces travaux.

De là, par une région extrêmement érodée, où dominent surtout les sols à croûte, le Congrès arrive à Nemours où l'on ne peut, par suite du manque de temps, visiter le périmètre de restauration voisin. Dans l'après-midi avant de regagner Oran, la caravane marque un arrêt à Nedromah pour examiner les granites dégradés et les travaux de restauration du sol. Puis on repasse par Tlemcen après un arrêt à la carrière d'Eugène Étienne où G. AUBERT présente un sol rouge méditerranéen, comportant en profondeur un horizon enrichi en concrétions de calcaire secondaire. A la suite d'une intervention de M. GAUTIER, il en explique en détail les différentes phases de formation : décalcification et rubéfaction, montrant que ce sol est bien un sol actuel, évoluant actuellement suivant le type de sol rouge méditerranéen.

19 mai. — A Oran se termine le Congrès; la dernière séance, tenue dans la grande salle de la Chambre d'Agriculture, est consacrée à un essai de synthèse de nos travaux sur certaines des principales questions tant sur le plan de l'organisation des recherches pédologiques que sur le plan scientifique.

M. G. DROUHIN prend la parole pour exposer ce que le service de l'Agriculture, celui de la Défense et de la Restauration des sols et celui qu'il dirige, de la Colonisation et de l'Hydraulique, attendent de la pédologie. Il montre en même temps toute l'aide que le pédologue pourra trouver auprès de ces différents services, insistant sur la nécessité de mener ce travail pédologique en équipe.

M. BARBUT insiste dans le même sens en se plaçant sur le plan du service de l'Agriculture dont il est inspecteur général.

M. le Dr OGG, reprenant cette même idée, demande que cette liaison soit étendue aux services homologues des territoires britanniques d'Afrique, ce qui est déjà réalisé en Afrique occidentale, comme le fait remarquer G. AUBERT.

Abordant un problème analogue, M. G. GAUTIER montre quel appui le géologue peut apporter au pédologue et, avec de nombreux exemples, quelle contribution la géologie peut fournir à l'étude des sols. A cette occasion, il demande au Congrès que des pédologues participent activement au Congrès international de Géologie, qui se tiendra en Algérie en 1951.

Sur le plan scientifique, la synthèse des observations faites sur les sols rouges méditerranéens, tant autour de Montpellier et de Marseille qu'en Algérie, est présentée par M. A. RRIFENBERG; celle sur les sols salés, par M. G. GAUCHER et celle sur les sols à croûte calcaire par M. G. AUBERT. Cette dernière est suivie des interventions de M. J. FRANC DE FERRIÈRE qui insiste sur le côté géologique du problème des sols à croûte, et de M. G. GAUCHER et H. ROSEAU qui développent leurs idées sur la formation de ce type de sol essentiellement par un mouvement de migration de haut en bas du calcaire.

M. R. NORDHANGEN insiste sur la nécessité d'étudier expérimentalement ce problème, M. SCOFIELD sur le rôle que peuvent y jouer les racines des plantes et M. J.-S. JOFFE sur les conditions climatiques qui ont pu favoriser la genèse de ce type de sol.

M. Ch.-E. KELLOGG développe ensuite une série de remarques sur les excursions faites en Algérie et sur les communications précédentes, en particulier sols à croûte, sols rouges méditerranéens, sols salés, sur l'influence de l'irrigation et du drainage dans leur genèse, et sur la lutte contre l'érosion.

M. PENDLETON reprend le problème des sols méditerranéens, et, entre autres, des sols rouges, et met bien en évidence l'influence des apports éoliens.

M. A. MONJAUZE étudie le problème de la conservation des sols qui n'est pas seulement technique mais plus encore, peut-être, d'ordre économique et social.

Enfin, M. J. BORDAS termine cette dernière séance de travail en montrant la nécessité absolue de créer un lien permanent entre tous les chercheurs qui étudient dans cette zone méditerranéenne les conditions du milieu naturel : géologues, climatologues phytogéographes, pédologues, agronomes, etc...

Pendant ce temps, quelques-uns de nos collègues font route vers Figuig et Beni-Ounif, sous la direction de M. le professeur C. KILIAN.

Et c'est sur un magnifique banquet offert par les Associations agricoles d'Oranie, où leur Président exprime tout l'intérêt que les agriculteurs oranais — venus nombreux assister à la séance du matin — portent aux études pédologiques et aux travaux qui permettent la mise en valeur des sols : irrigation, conservation des sols, que se termine cette conférence internationale de pédologie, la première depuis que la paix est revenue.

EXPOSÉ

**fait au cours de la visite du laboratoire d'Agrologie
de l'Institut agricole d'Algérie.**

Par M. REBOUR.

Chef du Service de l'Arboriculture en Algérie.

Les profils de sols d'orangeraias que vous avez sous les yeux vous sont présentés par le Service algérien de l'Arboriculture. Les échantillons ont été rassemblés par MM. RENAUD, GAGNARD et AUGUSTE, ingénieurs des Services agricoles chargés de l'Arboriculture, et M. SIMONNEAU, ingénieur des Services agricoles pour les irrigations.

Le dispositif adopté, reconstitution du profil de 0 à 2 m., avec photographie des arbres et courte notice concernant les fumures et les rendements, poursuit un but de *vulgarisation*. C'est aux cultivateurs que s'adresse cette *pédologie utilitaire*.

Nous avons, en effet, remarqué que si les agriculteurs connaissent bien la partie labourée de leur terre, ils ignorent trop souvent de quoi est composé le sous-sol. Ceci présente des inconvénients certains pour les cultures annuelles à racines traçantes, mais lorsqu'il s'agit de cultures fruitières pérennes, à enracinement profond, il peut en résulter de véritables catastrophes.

Par ailleurs, on a trop souvent planté des vergers dans des sols trop argileux. Or, l'argile, par la diminution de la perméabilité qu'elle provoque, peut réduire considérablement les rendements, quand elle n'influe pas sur l'existence même de l'arbre. L'argile peut être considérée comme l'ennemi n° 1 de la plupart des cultures fruitières. Il vous suffira de jeter un coup d'œil sur les quatorze profils, concernant des plantations d'agrumes très différentes, pour remarquer que les rendements vont décroissant, à mesure que la terre devient plus forte. Dans les terres nettement argileuses, le développement des arbres est très lent. On peut remarquer, en passant, que ce sont les espèces fruitières qui se bouturent le moins bien, qui sont les plus sensibles à un défaut d'aération par excès d'argile. Les Citrus, le Pêcher, dont les bois s'enracinent difficilement, exigent des terres légères. Avec ces arbres, une plantation trop profonde provoque de sérieux déboires. Au contraire, l'Olivier, le Cognassier, s'enracinent bien et donnent de bons résultats en terres argileuses, même lorsqu'ils sont plantés un peu trop profondément.

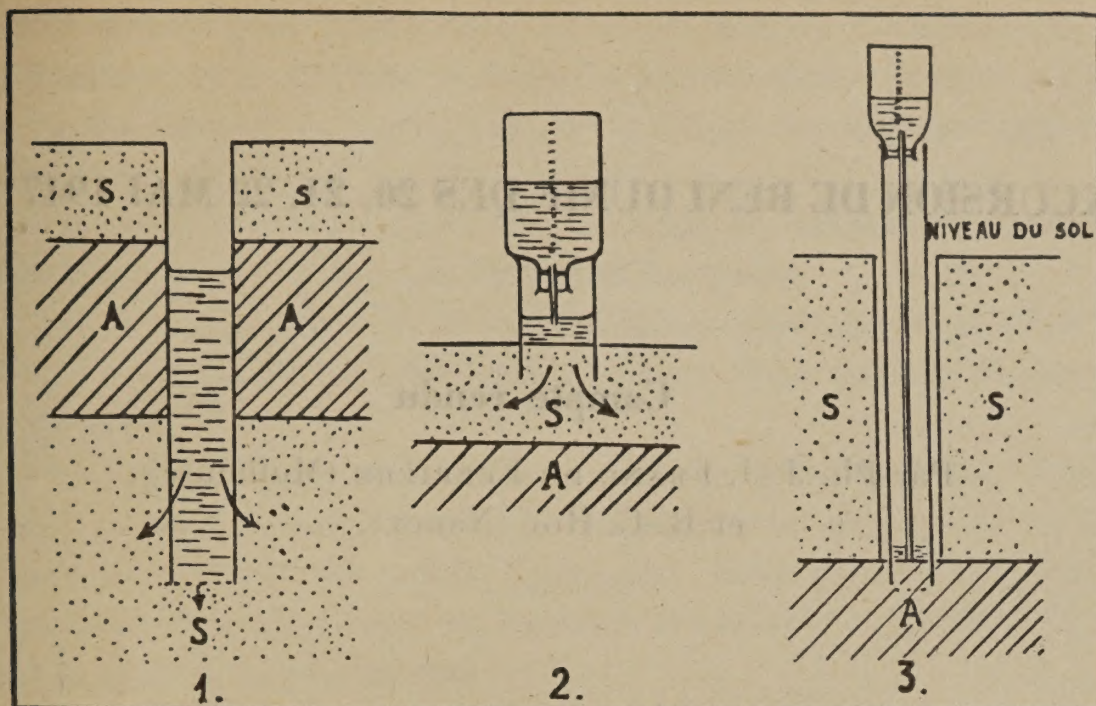
On pourrait penser que l'encombrement de la présentation qui vous est faite pourrait être évité par la constitution d'un dossier renfermant les analyses des sols, ce qui aurait, en outre, l'avantage d'une plus grande précision. Ce serait une erreur, car au regard du cultivateur, un papier ne remplacera jamais la présentation de la terre qu'il aime et dont il pressent les qualités et les défauts. Les photographies qui accompagnent nos profils et, surtout, les chiffres des rendements, inciteront le planteur à réflexion, beaucoup mieux que ne le feraient les chiffres de l'échelle granulométrique.

De nombreux reproches pourraient d'ailleurs être adressés à l'analyse des terres telle qu'elle est présentée pour l'interprétation pratique. Ce qui intéresse l'arboriculteur, ce n'est pas tant la proportion d'argile que les propriétés qu'elle confère à la terre. On sait combien il est difficile d'interpréter l'analyse à ce point de vue, en raison des différentes sortes d'argiles qui composent le sol. Pourquoi ne pas se contenter d'une évaluation directe de la *perméabilité* et de la *capacité du sol pour l'eau*, deux propriétés qui intéressent tout particulièrement l'arboriculteur nord-africain? On éviterait ainsi des travaux d'analyse granulométrique longs et fastidieux.

Nous nous sommes tout particulièrement attachés à l'étude de la perméabilité des sols en place en utilisant l'appareil de Muntz, modifié de façon à mesurer cette valeur pour chaque horizon séparément.

Mais il est évident que l'on ne peut effectuer toutes ces opérations pour tous les échantillons de terre rencontrés. Il faut nécessairement disposer d'agents capables de juger une terre au premier coup d'œil, afin de ne s'adresser au laboratoire ou de ne procéder à des mesures sur place, toujours longues, que dans des cas très limités. L'utilité des profils présentés aux congressistes s'affirme et nous nous proposons d'en établir une collection complète pour chaque poste d'ingénieur des services agricoles chargé de l'Arboriculture.

Ainsi, notre service technique pourra remplir son rôle, qui est d'assurer la liaison entre la science et la pratique. Aujourd'hui, en ce temple de la science qu'est l'Institut Agricole d'Algérie, nous sommes en contact avec des savants. Demain, nous irons dans les plantations, communiquer aux cultivateurs les précieux enseignements que nous aurons retirés au cours de ce Congrès. Nous réaliserons de la sorte une union étroite et féconde entre le laboratoire et le verger, pour le plus grand bien de l'arboriculture algérienne.



MESURE DE LA PERMÉABILITÉ DU SOL

1. Méthode « au trou ». Le forage a traversé une couche argileuse imperméable A. La mesure de la perméabilité sera surtout influencée par l'assise sableuse S. Or, la présence de l'argile en A peut être une contre-indication pour certaines cultures fruitières.

2. Appareil de Münz. La perméabilité est mesurée en surface. Ici, la couche argileuse imperméable A n'a qu'une influence très faible sur les mesures enregistrées. Cependant, elle peut interdire certaines plantations.

3. Appareil de Münz modifié. On mesure directement la perméabilité des couches douteuse que l'on désire étudier et on ne mesure que celle-là. Les causes d'erreur sont beaucoup moins importantes qu'avec les méthodes précédentes.

A : argile.

S : sable.

EXCURSION DE BENI OUNIF DES 20, 21, 22 MAI 1947

Compte rendu

Par Ph. J.-J. FRANC DE FERRIÈRE (Mulhouse)
et R.-C. ROL (Nancy).

Cette excursion si parfaitement organisée par M. le professeur Ch. KILLIAN, directeur du Laboratoire de Biologie saharienne de Beni Ounif, a permis à une douzaine de congressistes d'étudier les sols et la végétation de la région désertique sud-oranaise.

Beni Ounif de Figuig se trouve situé sur le 32° de latitude nord, et sensiblement sur le méridien d'Oran, à une altitude de 900 m. environ sur la bordure nord du Sahara. Topographiquement, cette oasis est située sur un vaste plateau, à peine entamé par le lit de l'oued Zousfana et de ses affluents, plateau limité au nord par les chaînons les plus méridionaux de l'Atlas saharien (djebel Grouz) et parsemé de quelques chaînes assez abruptes et peu élevées.

Dans cette région, le climat exerce une action prédominante, et le trait essentiel, c'est la sécheresse, sécheresse due à une pluviosité très faible, moins de 100 mm. par an, et surtout très irrégulière, puisque lors de notre passage, il n'avait pas plu depuis plus de deux ans. Tous les facteurs climatiques contribuent d'ailleurs à augmenter cette sécheresse : chaleur excessive, luminosité intense, vent violent. Les différences de température sont considérables, entre l'ombre et le soleil, entre le jour et la nuit, entre l'hiver et l'été, de telle sorte que les phénomènes d'altération des roches sont remarquables par leur intensité. Les matériaux qui en résultent sont transportés par le vent, d'où une érosion éolienne intense qui, jointe à l'action parfois catastrophique des averses, contribue puissamment à créer des conditions de milieu défavorables à la vie en général et spécialement à l'installation des végétaux.

De plus, l'action de l'homme s'est exercée puissamment pour détruire encore le peu de végétation existante et surtout les végétaux ligneux, soit directement, en recherchant du combustible (il est arrivé ainsi à détruire la presque totalité des « Betoum » (*Pistacia atlantica*) ou des Oléastres, soit indirectement, par l'intermédiaire du pâturage des

animaux domestiques : chameau, chèvre et mouton. Ce pâturage, toujours dommageable, devient un fléau les années sèches lorsque par suite de la raréfaction de la végétation, ces animaux ne trouvent plus suffisamment de nourriture.

En relation avec ces conditions écologiques extrêmement sévères, la végétation présente des caractères très frappants :

— une très faible densité de la population végétale. De grandes surfaces, pouvant atteindre plusieurs hectares, sont parfois dépourvues de végétaux ;

— la prédominance de certaines formes biologiques et l'absence totale ou presque d'autres types. Parmi les formes dominantes citons : les buissons épineux de faible dimension, souvent d'allure générale plus ou moins hémisphérique, les plantes en coussinet et les plantes spartioïdes (ayant l'allure d'un genêt).

Par contre, les arbres manquent à peu près totalement. « Les herbes » sont extrêmement rares et nous n'avons vu, ni therrophytes (ici l'expression de plantes annuelles ne saurait être utilisée), ni plantes à bulbes, végétaux dont l'abondance à certaines époques nous a été signalée.

L'absence des plantes grasses est assez surprenante, étant donné la réputation de xérophilie de ces végétaux. Cette absence est peut-être en relation avec un état hygrométrique constamment très bas.

Dans ce coin du Sahara quelques cultures sont encore possibles grâce à la présence d'eaux profondes descendant des montagnes voisines au travers des alluvions grossières des oueds, qui permettent l'établissement d'oasis où les indigènes cultivent le dattier, le figuier, l'abricotier et quelques plantes annuelles, l'orge en particulier.

Nous avons pu visiter, sous la conduite du professeur KILIAN, plusieurs de ces oasis.

L'oasis de Melias, située à l'entrée même de l'Atlas saharien, dans un vallon dominé d'un côté par le djebel Melias, de l'autre par le djebel Grouz, occupe le lit assez étroit d'un oued desséché. Elle semble actuellement en voie de dessèchement. Elle ne comportait pas cette année de cultures annuelles, pas d'habitations permanentes et son inventaire floristique est vite fait. Quelques figuiers, quelques arbrisseaux : un sumac, ressemblant à s'y méprendre à une aubépine (*Rhus oxyacantha*), des lauriers roses en fleurs dans le lit de l'oued, et quelques plantes herbacées, d'ailleurs assez ubiquistes, dans une rigole d'irrigation où subsiste un peu d'eau, plantes parmi lesquelles on peut citer : *Samolus Valerandi*, *Scirpus Holoschoenus*, *Scirpus maritimus*, *Cynodon Dactylon*, etc...

Les palmiers occupent pour une part des alluvions modernes assez fines, non concrétionnées, mais aussi des flancs érodés d'une terrasse de « reg », graviers quaternaires fortement encroûtés de calcaires au tra-

vers desquels se trouve foré le puits, d'environ 5 m. de profondeur, qui sert à l'alimentation en eau de l'oasis; cette eau douce présente un pH faiblement alcalin (7,5).

Le fond de la vallée principale qui domine l'oasis est constitué par une vaste plaine horizontale de cailloutis de reg plus ancien, à croûte calcaire dure de couleur rougeâtre. Les cailloux superficiels sont partiellement dégagés de la croûte, érodés et vermiculés par le vent de sable désertique. Nous reviendrons un peu plus loin sur la végétation, très caractéristique du reg.

En partant de l'oasis, un ravin, en forte pente, lit d'un oued desséché, a servi de voie aux congressistes pour gagner le sommet du djebel Grouz.

Des témoins de reg concrétionnés, prolongement du reg de la plaine, restent encore accrochés au flanc du ravin, et les rochers, au milieu desquels l'oued a frayé son cours torrentueux, sont fortement attaqués et vermiculés sous l'action du vent de sable du désert.

Sur les replats des parties hautes, nous avons observé entre les rochers et les pierres des accumulations de limon sableux jaunâtre, non concrétionné dans lequel abondent les coquilles de petits escargots subfossiles, témoins d'un climat plus humide à une date relativement récente.

Sur les flancs des vallons supérieurs, les roches calcaires jurassiques présentent une patine d'un jaune rougeâtre constituée par une croûte calcaire de quelques millimètres d'épaisseur rappelant la teinte de la croûte calcaire du reg de la grande vallée inférieure.

Les grès culminants sont, au contraire, fréquemment teintés en noir par une patine ancienne qui fait défaut sur les parois récemment érodées sous l'effet des vents de sable ou éclatées sous l'action des gelées et de la chaleur solaire.

Cette excursion dans le djebel Grouz, nous a permis d'atteindre la cote 1500, et du point culminant, nous avons eu une vue extrêmement étendue et fort intéressante à la fois sur l'Atlas saharien et sur le Sahara.

La végétation de cette montagne saharienne est caractérisée par un beaucoup plus grand nombre d'espèces parmi lesquelles il faut mentionner au-dessus de 1.000 m. un certain nombre d'espèces des hauts plateaux oranais, tels que l'alfa (*Stipa tenacissima*) souvent abondant, l'*Artemisia Herba-alba*, toujours plus rare, et quelques sous-arbrisseaux méditerranéens tels que *Globularia Alypum* ou *Teucrium Polium*.

Les végétaux ligneux sont bien représentés, mais généralement réduits à l'état de buissons rabougris par le pâturage ou la recherche du bois de feu. L'olivier sauvage est très fréquent sous forme de rejets nombreux sur de vieilles et fortes souches, accompagné de *Rhus oxycantha*, *Capparis*

spinosa, *Ephedra Alenda*, et d'une curieuse composée ligneuse très odorante : *Warionia Saharæ*, endémique de la région. Vers le sommet, *Juniperus Phœnicea* était abondant dans une barre rocheuse au pied de laquelle existaient quelques pieds d'*Haloxylon articulatum*. Citons encore un buisson de *Periploca lœvigata* (Asclepiadacées) relique tropicale..., une plus longue énumération deviendrait fastidieuse.

La vipère à cornes et les scorpions ne sont pas rares, paraît-il, dans cette région, mais nous n'avons pas eu l'occasion de constater leur présence.

L'oasis de Beni Ounif est établie dans la plaine à quelques kilomètres de la précédente, mais en contrebas. Elle est dominée par une région de roches dénudées par l'érosion, ou « hammad » sur lesquelles le professeur KILLIAN a montré aux congressistes une série de gravures rupestres représentant des éléphants, des antilopes, faune aujourd'hui inconnue à Beni-Ounif et indiquant un climat nettement plus humide que le climat actuel.

Sur la hammad la végétation est très rare, on y trouve une ombellifère à port de genêt : *Deverra scoparia* ; une plante rampante, *Citrullus Colocynthis* et surtout un pied unique d'*Acacia tortilis*, le Gommier du sud tunisien, seul exemplaire actuellement vivant, connu sur un territoire immense et ayant échappé à la destruction par l'homme et les animaux.

En contrebas de ces roches, existe une succession de limons quaternaires plus ou moins jaunâtres avec des intercalations d'au moins trois niveaux de concrétions calcaires dures, à facies de poupées agglomérées en lits plus ou moins continus.

Au voisinage du lit desséché de l'oued, affleure, sur la rive droite, une croûte calcaire dure, mise à nu par l'érosion et qui paraît ancienne. Sur l'autre rive, la palmeraie de Beni-Ounif se trouve installée sur des lits de graviers et de limons plus récents, non concrétionnés, dont certains contiennent encore des coquilles d'escargots subfossiles.

A l'ombre des palmiers existent des cultures importantes d'arbres fruitiers (figuiers, abricotiers), d'orge, de luzerne et même de quelques légumes, que des murs élevés d'argile séchée protègent à la fois de l'action desséchante du vent et des maraudeurs. Un système très compliqué de canaux souterrains (foggara) ou aériens permet l'irrigation indispensable des cultures.

Un certain nombre de plantes rudérales les accompagnent. Quelques unes sont des ubiquistes comme le liseron (*Convolvulus arvensis*), le souci (*Calendula arvensis*) ou un chiendent (*Cynodon Dactylon*), etc...; d'autres sont plus localisées : signalons seulement une convolvulacée halophile, *Cressa cretica* et une Zygophyllacée steppique : *Peganum Harmala*, toutes deux très abondantes.

Dans cette oasis un vaste bassin est alimenté par une source d'eau faiblement alcaline (pH 8,0) servant à l'arrosage des cultures.

L'eau qui stagnait dans la partie basse la plus déprimée de l'oued, au voisinage du pont de chemin de fer, présentait une alcalinité plus marquée approchant de pH 9. On observe au voisinage un certain nombre de plantes plus ou moins halophiles : des Tamarix, des Salsolacées : *Atriplex halimus*, *Suaeda fruticosa*, *Haloxylon tamariscifolium*, un *Frankenia* (*F. thymifolia*), un Statice (*S. pruinosa*), etc...

L'Oasis de Tazrah est installée dans la plaine désertique à 5 km. au sud de Beni-Ounif. C'est, comme celle de Melias, une simple plantation de palmiers-dattiers, sans cultures de plantes annuelles, sans murs de protection contre l'érosion éolienne, sans habitation permanente.

Il y existe, cependant, une petite source d'eau douce (pH 7,5) alimentant un ruisseau peuplé d'une faune abondante de poissons et d'insectes aquatiques, et où poussent des roseaux (*Phragmites communis*) et des joncs.

Les sables sur lesquels poussent les palmiers voisins présentent une réaction du même ordre. Ils reposent sur une croûte calcaire concrétionnée de reg ancien qui affleure le long du ruisseau. Dans la partie la plus déprimée de l'oued s'accumulent des eaux à pH franchement plus alcalin (pH 9). Le sable des bords de cette dépression alcaline est fortement teinté en noir par de la matière organique ou des sels ferreux.

Une végétation très caractéristique des terrains salés a été rencontrée au voisinage de l'oasis de Tazrah. En plus des plantes déjà citées, elle comprenait *Salsola vermiculata*, *Arthrocnemum glaucum*, *Frankenia pulverulenta*, *Spergularia marina*, *Juncus maritimus*, etc... A côté d'eux des Xérophytes typiques comme *Lygeum Sparteum*.

Les congressistes purent, enfin, visiter la région des dunes éoliennes récentes, qui occupent une partie de la vaste dépression où vient se perdre l'oued Zousfana descendant de l'oasis de Figuig (10 km. à l'est de Beni-Ounif). Dans l'erg, les sables grossiers sont constamment en mouvement sous l'influence des vents désertiques, ce qui exclut toute végétation à leur surface.

Cependant à la moindre pluie, paraît-il, ces régions dunaires se recouvrent d'un merveilleux tapis de fleurs, qu'il est bien difficile d'observer, en raison de la brièveté de son existence et de l'irrégularité de son apparition.

Mais entre les dunes, existent des dépressions, des sortes de cuvettes constituant une « station », bien individualisée, comprenant un petit nombre de plantes vivaces parmi lesquelles nous citerons quelques espèces spartioïdes : *Euphorbia Guyoniana*, un genêt, *Rætama* et une Résédacée : *Randonia africana*, puis deux graminées de grandes dimen-

sions : *Aristida pungens*, et le vulgaire roseau : *Phragmites communis* qu'on est un peu surpris de retrouver ici, indiquant évidemment la proximité d'un plan d'eau. Dans ces dépressions limoneuses on peut ramasser en quantité des coquillages subfossiles.

La portion de désert qui sépare la région dunaire de l'oasis de Beni-Ounif est en partie occupée par une surface de reg caillouteux ancien à croûte calcaire, érodée en surface par les vents de sables. Ce reg a une végétation très clairsemée, mais particulièrement caractéristique. La plante la plus curieuse est incontestablement une Chénopodiacee : l'*Anabasis aretioides*, formant des coussinets hémisphériques vert glauque, extrêmement compact, durs, piquants, pouvant atteindre près de 50 cm. de diamètre. Les buissons épineux y sont nombreux et la convergence de forme est très accentuée. Il est par exemple difficile, en l'absence de fleurs de distinguer une Composée : *Launæa arborescens*, d'une Crucifère : *Zilla macroptera*.

Dans les lits des légères dépressions creusées dans ce reg par les oueds anciens, il nous a été possible d'observer de petits monticules de sable légèrement limoneux qui se sont maintenus en place grâce à la présence en leur centre d'une touffe buissonnante de *Zizyphus Lotus* qui les protège contre l'érosion. Ces dunes en miniature, les *nebka* en arabe, sont habitées par de petits rongeurs : les gerboises et par une faune d'insectes. Citons en particulier des microlépidoptères dont les chenilles vivent aux dépens de la litière morte, constituée par les feuilles du *Zizyphus Lotus*, dont elle amène la lente humification en les aglutinant. Ce phénomène, si exceptionnel en région désertique sèche, a été étudié d'une façon toute spéciale par M. le professeur Killian, qui n'a pas manqué d'attirer notre attention sur cette véritable curiosité biologique et pédologique.

Nous sommes particulièrement heureux d'avoir ici l'occasion d'exprimer au professeur Ch. KILLIAN la très vive reconnaissance des quelques membres du Congrès de pédologie méditerranéenne qui, grâce à son initiative, à son dévouement et à sa connaissance approfondie du milieu désertique, ont eu la possibilité de profiter au maximum de ces trois belles journées d'excursion autour de Beni-Ounif. Et nous ne saurions terminer ce compte rendu succinct sans mentionner la très intéressante visite du Musée de Biologie saharienne de Beni-Ounif, que dirige avec tant de compétence M. le professeur KILLIAN. Il a déjà réuni là de nombreux échantillons très intéressants, et qui plus est, présentés d'une façon fort attrayante et instructive. Il est à souhaiter que, malgré la dureté des temps actuels, M. Killian puisse continuer à trouver les appuis financiers et moraux nécessaires pour pouvoir poursuivre l'œuvre ainsi commencée.

BIBLIOGRAPHIE ALPHABÉTIQUE

*Principales publications françaises concernant la Pédologie
de la région méditerranéenne (Afrique du Nord).*

- BOURCART (J.). — Note sur les sols marocains (*Bull. Soc. Sc. Natuc. Maros. Rabat*, mars 1932).
- Sur l'importance des études géochimiques (pédologiques) des sols dans les pays tropicaux. 7^e Congrès intern. d'Agric. trop. et sub-trop. Paris, sept. 1937.
- BREUIL (H.). — Les terres noires du Maroc, de Dantin Cereda (*L'Anthropologie*, Paris, 1917, t. XVIII, p. 574-575).
- BRIVES (A.). — Aperçu géologique et agricole sur le Maroc occidental (*Bull. Com. Afr. Fr.* Paris, février 1905, p. 68-72).
- Sur l'origine des terres noires du Maroc (*C. R. Soc. géol. fr.* Paris, 2 février 1920, fasc. 3, p. 33-35).
- BRODSKIS. — Idées nouvelles sur la pédologie (*Bull. Assoc. Maroc et O. sols Rabat*, 10 janvier 1939).
- BRODSKIS et MIÈGE — Influence de la nature du sol sur la composition chimique du grain de blé (*C. R. Acad. Sc. Paris*, t. CCVIII, p. 2102. 26 juin 1939).
- BRYSSINE et MIÈGE — Contribution à l'étude de quelques sols types du Maroc (*Bull. Assoc. mar. et sols*, Rabat, mai 1939).
- Recherches préliminaires sur quelques propriétés des tirs noirs du Gharb (*Bull. Assoc. Mar. et sols. Rabat*, avril 1941).
- BRYSSINE (G.). — Étude expérimentale de l'irrigation du sol des Beni-Amir (*D. A. E.*, Rabat, 1945, 113 p.).
- BRYSSINE, GRILLOT, VIRELIZIER. — Étude préliminaire des sols et des aptitudes agricoles du périmètre irriguable des Triffa (*D. A. E.*, Rabat 1946, 50 p.).
- CARLE (G.). — Étude sur les sols marocains. Leur histoire, leur classement, leur mise en valeur. (Publ. Bureau Études Sol, engrais, Maroc, Casablanca, 1928, 12 p.).
- Étude sur les sols marocains (*Rev. Bot. appliq.* Paris, 1929, t. IX, pp. 198-204 et 271-276).
- Étude sur les sols marocains (*Rev. Bot. appl.* Paris, janvier-février 1930, pp. 15-21 et 91-99).
- Contribution à l'étude de la géographie physique de la plaine de Guercif (*Terre Marocaine*. Casablanca, 1^{er} juin 1931, pp. 11-17).
- Troisième étude sur les sols marocains. Considérations sur la formation des sols en régions arides et semi-arides (*Bull. Soc. Sc. Natur. Maroc*, Rabat, mars 1932, t. XII, n^o 1-3, pp. 69-89).
- Notes sur les observations relevées au cours d'un voyage d'étude dans la région présaharienne (*Bull. comm. d'études eaux souterr.* Rabat, 1934. Congrès d'Er-foud, pp. 76-83).
- CARLE (G.) et TROCHAIN (J.). — Classification pédologique des sols d'après E. Huguet del Villar (*Rev. bot. appl.* Paris, novembre 1937, pp. 614-621).
- CARLE (G.). — Note sur les eaux salées de l'Habra (*Bull. Assoc. Maroc. et sols.* Rabat, 10 janvier 1939).
- Fertilité et pédologie (*Bull. Ass. mar. et sols.* Rabat, 10 janvier 1939).
- CELERIER (J.). — Les merdja et la plaine du Sebou ((*Rev. Hesperis*, Rabat, 1-3 trim. 1922, pp. 109-139 et 209-239).
- CHAUVEAU. — Contribution à l'étude de la nature des sols marocains (*Cong. A. F. A. S.*, Rabat, avril 1934).
- COSNIER. — L'Afrique du Nord (*Mission*, Paris, 1922).
- DANTIN-CEREDA (J.). — Las tierras negras de Marruecos (*Trabajos del Museo Nac. de Ciencias*, Madrid, 1917, pp. 27-37).

- EMBERGER (S.). — L'origine et la nature des tirs marocains (*Rev. Géog. Maroc. Casablanca*, 1931, t. XV, n° 5).
- EMBERGER et ZABORSKI. — La transformation des grès de Rabat en sol climatique (*Bull. soc. Sc. Natur. Maroc. Rabat*, déc. 1928, t. VIII, n° 7-9, pp. 223-226).
- FERRIÈRE (Franc DE). — Observations sur le pH de quelques sols de l'Afrique du Nord et de l'A. O. F. (*Ann. Agron. Paris*, 1932, pp. 674-682).
- GENTIL (L.). — De l'origine des terres fertiles du Maroc occidental (*C. R. Ac. Sc. Paris*, 3 février 1908, t. CXLVI, pp. 243-246).
- De l'origine des terres fertiles du Maroc occidental (*C. R. Soc. Géol. fr. Paris*, 3 février 1908, fasc. 3, pp. 20-21).
- Nouvelles observations sur les tirs dans la Chaouïa. (*C. R. Soc. Géol. Fr. Paris*, 21 juin 1909, fasc. 12, pp. 93-95).
- Le Maroc physique. Alcan, édit. Paris, 1912, 320 p.
- A propos des terres fertiles du Maroc occidental (*C. R. Soc. Géol. Fr. Paris*, 2 février 1920, fac. 3, pp. 35-36).
- LECOMTE. — Recherches géologiques dans la Meseta Marocaine. Thèse doctor. sc. Rabat, 1926, n° 14, 158 p.
- LEMOINE (P.). — L'origine des terres noires au Maroc (*La Géographie. Paris*, 15 avril 1908).
- M^{lle} MALYCHEFF. — Contribution à l'étude des sols du Maroc occidental (*C. R. A. S.*, 1936, t. 203, pp. 1532-1534).
- M^{lle} MALYCHEFF et GROS. — Recherches sur les sols du Maroc (*Publ. Inst. Scient. Chérif. Rabat*).
- MERCIER (A.). — Remarque sur l'évolution des sols dans la région de Casablanca. (Cong. A. F. A. S. Rabat, avril 1934).
- MIÈGE (Em.). — La question des eaux salées au Maroc (*Géogr. Maroc*, n° 3, septembre 1932, 56 p).
- Contribution à l'étude des sols du Maroc (Rech. s. le sol, vol. V, 1937, pp. 239-284).
- Étude du bilan de l'eau et des éléments fertilisants dans quelques sols types du Maroc (*Ann. Agron.*, 1937, t. VII, p. 370).
- Fertilité et Pédologie (*Bull. Ass. Maroc. et sols. Rabat*, 10 janv. 1939).
- Contribution à l'étude de quelques sols types du Maroc (*Bull. Assoc. Maroc et sols. Rabat*, mai 1939).
- La percolation des eaux dans quelques type de sols marocains (*Bull. com. et eaux souter. Rabat*, 1939, p. 79 et 4^e Congrès féd. Soc. Sc. A. N., 23 p.).
- MIÈGE (Em.) et BRYSSINE. — Recherches préliminaires sur quelques propriétés des tirs noirs du Gharb (*Bull. Assoc. maroc. et sols. Rabat*, avril 1941).
- MIÈGE (Em.). — Première étude sur les sols du Tadla (*Assoc. maroc. p. étude des sols. Rabat*, 1941, 82 p.).
- MOREAU (P.-L.). — Les terres agricoles de la Chaouïa (*Bull. Com. afr. fr. Paris*, août 1912, pp. 310-314).
- UDIN. — Conférence à l'A. M. E. S. 1939.
- RIGOTARD (M. et L.). Contribution à l'étude agronomique du Maroc (*Ann. de la Sc. Agron. Paris*, 1917, 19 p.).
- SONNIER (A.). — Les mardja de la plaine du Ghard (*Bull. écon. Maroc. Rabat*, 1935, pp. 118-124).
- SORR (E.). — Observations sur la végétation du Maroc (pédologie) (*Ann. Géogr. Paris*, 1924, n° 183, pp. 257-266).
- VALIN (J.). — Contribution à l'étude de la nature des sols marocains (*La Terre marocaine, Casablanca*, avril 1934).
- ZABORSKI (M.) et EMBERGER (L.). — La transformation des grès de Rabat en sol climatique (*Bull. soc. Sc. Nat. Maroc. Rabat*, décembre 1928, t. VIII, n° 7-9, pp. 223-226).
- YOVANOVITCH. — Causes permanentes de modifications d'un sol par le substratum (*Bull. Assoc. Maroc et des sols. Rabat*, 10 janvier 1939).

TABLE ALPHABÉTIQUE

par noms d'auteurs

- | | |
|--|--|
| AUBERT (G.), 330-484. | JACKS (G.-V.), 220. |
| AUBERT (G.), DUBOIS (J.) et MAIGNIEN (R.), 443. | JOFFE (J.-S.), 226. |
| AUBERT (G.) et MAIGNIEN (R.), 358. | KELLOG (Ch.-E.), 210-481. |
| BAEYENS (J.), 320. | KILLIAN (Ch.), 371-451. |
| BARBUT et BERTHAULT, 285. | KILLIAN (Ch.) et SCHNELL (R.), 356. |
| BATS [Voir ROSEAU (H.)]. | LOWDERMILK (W.-C.), 267-405. |
| BERGER (G.), 119. | MAIGNIEN (R.) [Voir AUBERT (G.)]. |
| BERTHAULT (Voir BARBUT). | MEULENBERGH (J.), 355. |
| BRAMAO (D.-L.), 198. | MIÈGE (Em.), 380. |
| BRYSSINE (G.), 347. | MONTARLOT (G.), 170. |
| BRYSSINE (G.) [Voir GRILLOT (G.)]. | PALLMANN (H.), 3. |
| CHAMINADE (R.), 222. | PENDLETON (R.-L.), 157. |
| CROWTHER (M.), 123. | REBOUR (M.), 495. |
| DELLENBACH (P.), 269. | REIFENBERG (A.), 161-434. |
| DEMOLON (A.), v. | ROL (Ch.) [Voir FRANC DE FERRIÈRE (J.)] |
| DUBOIS (J.) (Voir AUBERT (G.)). | ROSEAU (H.), 332-338-389. |
| EDELMAN (C.-H.), 115. | ROSEAU et BATS, 87. |
| EDELMAN (C.-H.) et SCHEFFELEN (A.-C.), 109. | RUSSELL (E.-W.), 93. |
| FAUREL (L.), 474-478. | SCHNELL (R.) [Voir KILLIAN (Ch.)]. |
| FRANC DE FERRIÈRE (Ph. et J.-J.), 164. | SCHOFIELD (R.-K.), 85. |
| FRANC DE FERRIÈRE (Ph.-J.-J.) et ROL (Ch.), 498. | SCHUFFELEN (A.-C.) [Voir EDELMAN (C.-H.)]. |
| GAUCHER (G.), 333-373-455. | TAMM (O.), 206. |
| GESLIN (H.), 37. | VILLAR (E.-H. DEL), 317. |
| GÈZE (B.), 140. | WALLACE (T.), 248. |
| GRILLOT (G.), 377. | YANKOVITCH (L.), 336-342-407. |
| GRILLOT (G.) et BRYSSINE (G.), 420. | |
| HÉNIN (S.), 97. | |
-

TABLE DES MATIÈRES

DEMOLON (A.). — Introduction	Pages v
--	------------

Réunions dans la Métropole.

PALLMANN (H.). — Pédologie et Phytosociologie.	3
GESLIN (H.). — Caractérisation des climats locaux	37
SCHOFIELD (R.-K.). — The Measurement of Evaporation	85
ROSEAU (H.) et J. BATS. — Analyse physique des terres calcaires	87
RUSSELL (E.-W.). — Current problems in soil cultivation.	93
HÉNIN (S.). — La formation des argiles et la Pédologie.	97
EDELMAN (C.-H.) et SCHUFFELEN (A.-C.). — On the origin of some Clay minerals in Soils	109
EDELMAN (C.-H.). — Les recherches pédologiques des terres inondées aux Pays-Bas	115
BERGER (G.). — The structure of Montmorillonite	119
CROWTHER (E.-M.). — The study of soil organic matter and organic manures by means of field experiments	123
GÈZE (B.). — Paléo-sols et sols dus à l'évolution actuelle (leur importance relative en pédologie théorique et appliquée)	140
PENDLETON (R.-L.). — Mediterranean red Soils	157
REIFENBERG (A.). — Some observations on red Soils	161
FRANC DE FERRIÈRE (Ph.-J.-J.). — Carte schématique des pH du sol de la France	164
MONTARLOT (G.). — Les sols de l'Hérault	170
BRAMAO (D.-L.). — The soil map of Portugal	198
TAMM (O.). — Influence exercée par la végétation forestière et les bruyères sur les sols de la partie méridionale de la Suède.	206
KELLOGG (Ch.-E.). — The detailed soil survey in the united states.	210
JACKS (G.-V.). — Soil Conservation and human ecology	220
CHAMINADE (R.). — Influence de l'humus sur l'assimilabilité des engrais phosphatés dans un sol latéritique.	222
JOFFE (J.-S.). — A pedologic approach in solving some Soil productivity problems	226
WALLACE (T.). — Soil conditions and mineral deficiencies of Plants, with special reference to deficiencies of the trace elements Iron, Manganese, Boron, Zinc, Copper and Molybdenum	248
LOWDERMILK (W.-C.). — Progress report on soil and water conservation in the United States	267
DELLENBACH (P.). — Des effets de l'irrigation sur la perméabilité des sols irrigués par le Syndicat du canal d'irrigation de Canet (Hérault). . .	269
BIBLIOGRAPHIE FRANÇAISE	274

Réunions en Afrique du Nord.

BARBUT et BERTHAULT. — L'Algérie agricole	285
DEL VILLAR (E.-H.). — C. R. des travaux pédologiques méditerranéens effectués depuis le Congrès d'Oxford (1935).	317

	Pages
BAEYENS (J.). — Les méthodes d'examen des sols tropicaux et subtropicaux.	320
AUBERT (G.). — Les sols à croûte calcaire	330
ROSEAU (H.). — Les sols à croûte calcaire (intervention)	332
GAUCHER (G.). — Les sols à croûte calcaire (intervention)	333
YANKOVITCH (L.). — Les sols à croûte calcaire (intervention).	336
ROSEAU (H.). — Sur le pouvoir décalcarisant de certains sels dans le sol.	338
YANKOVITCH (L.). — Carte schématique de la répartition des types de sols en Tunisie (notice explicative)	342
BRYSSINE (G.). — Contribution à l'étude des sols de l'extrême sud marocain.	347
MEULENBERGH (J.). — L'Afrique Centrale, terre qui se régénère	355
KILLIAN (Ch.) et SCHNELL (R.). — Observations sur les formations végétales et les sols humifères correspondants des Monts Benna et du Fouta-Djallon (Guinée française)	356
AUBERT (G.) et MAIGNIEN (R.). — Les sols du Sénégal.	358
KILLIAN (Ch.). — Pédologie des terres astiennes aux environs d'Alger et des sols rouges qui en dérivent.	371
GAUCHER (G.). — Sur l'âge des sols rouges nord-africains	373
GRILLOT (G.). — Les étapes de la pédologie marocaine	377
MIÈGE (Em.). — Les études pédologiques au Maroc.	380
ROSEAU (H.). — Sur la circulation de l'eau dans le sol (observations en cases lysimétriques)	389
LOWDERMILK (W.-C.). — Soil erosion and irrigation storage in North Africa.	405
YANKOVITCH (L.). — Études sur la résistance de certaines cultures d'été aux chlorures.	407
GRILLOT (G.) et BRYSSINE (G.). — Contribution à l'étude de l'humidité des sols du Maroc	420
REIFENBERG (A.). — The influence of salt solutions on the intake of ions by Barley seedlings	434
AUBERT (G.), DUBOIS (J.) et MAIGNIEN (R.). — L'érosion éolienne dans le Nord-Ouest du Sénégal.	443
KILLIAN (Ch.). — Conditions édaphiques chez les plantes des pâturages steppiques algériens	451
GAUCHER (G.). — Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord.	455
FAUREL (L.). — Note sur la cédraie de l'Atlas de Blida (Algérie), ses sols et ses associations végétales.	474
— Aperçu schématique sur les sols des cédraies de l'Afrique du Nord française.	478
KELLOG (Ch.-E.). — Remarks at closing sessions of Mediterranean (Conference in Oran on May 1947).	481
AUBERT (G.). — C. R. de la Conférence internationale de Pédologie pendant son séjour en Algérie (9-20 mai 1947).	484
REBOUR (M.). — Exposé fait au cours de la visite du Laboratoire d'Agrologie de l'Institut agricole d'Algérie.	495
FRANC DE FERRIÈRE (Ph.-J.-J.) et ROL (R.-C.). — Excursion de Beni Ounif des 20, 21, 22 mai 1947.	498
BIBLIOGRAPHIE	505

Les C.R. du Congrès de Pédologie Méditerranéenne
sont en vente:

Maison Berger Levrault : 5, rue Auguste Comte, Paris (V°)

C.C.P. PARIS 409

Pour la France:

Pris en librairie	1.500 Frs
Franco	1.575 "
Contre remboursement	1.610 "

Pour l'Etranger : Franco 1.600 "

